

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO – Engenharia Mecânica
Disciplina MEC041 - Trabalho Final de Graduação II

DESENVOLVIMENTO DE PRESILHA DE FIXAÇÃO DE GRADES DE PISO

Vinicius Manfroi

144778@upf.br

Charles Leonardo Israel

israel@upf.br

Comissão Examinadora – William Haupt

RESUMO

Uma obra de construção civil abrange uma infinidade de elementos que podem compor as estruturas da mesma. Se tratando do segmento industrial, as grades de piso soldadas são amplamente utilizadas em função de seu excelente custo benefício em relação a execução de pisos concretados e ótima versatilidade para remoção em caso de possíveis manutenções futuras de equipamentos que necessitem ser removidos de andares inferiores. As grades também facilitam o fluxo de ar entre os andares inferiores dos prédios, possibilitando que o ar quente seja expelido pelo lanternim da cobertura e a troca de ar no ambiente seja satisfatória. Desta forma, em função da larga metragem quadrada que é utilizada de grades de piso um empreendimento e conseqüentemente a grande demanda de fixadores das grades, a proposta do presente trabalho é desenvolver e testar um novo modelo de presilhas de fixação, buscando reduzir custos em relação ao valor de compra em mercado e otimizar o uso e aproveitamento de matéria prima. Sendo assim, o diferencial do produto será o estudo realizado para obtenção de um novo modelo de presilhas que atendam a necessidade de utilizar perfis de barras chatas de prateleira, eliminando processos de cortes de chapas desbobinadas para preparação das tiras para estampagem das peças finais. Será validado o desempenho da nova presilha em relação à outro modelo já disponível em mercado, assim como, será também avaliado o tempo de retorno de investimento (*payback*) de uma ferramenta de estampagem para as presilhas.

Palavras-chave: Estruturas Metálicas; Presilhas; Grades de Piso; Matriz; Estampagem;

1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira tem se destacado pelo aumento de produção em diversas áreas. Este grande aumento de produção vem acompanhado por pesquisas de desenvolvimento de novos produtos, visando a redução de custo e o aumento de produtividade das empresas (Fonseca, 2022).

No cenário atual de mercado as empresas que desejam se manter competitivas devem avaliar seus custos e elaborar planos de ações visando mitiga-los ou até mesmo extingui-los. A sequência de implementação de cada projeto deve seguir a ordem de importância perante ao impacto no custo do produto final.

Com o crescimento da economia e alimentado principalmente pelas áreas da agricultura (na movimentação e armazenagem de grãos), extração de minérios, extração de petróleo e prédios de processos em geral, o ramo de estruturas metálicas tem ganhado destaque devido ao fato de proporcionar maior versatilidade e fácil customização na solução de projetos (Escola de Engenharia Civil e Ambiental, 2022).

Um dos principais componentes que compõem muitos projetos de estruturas metálicas são as grades de piso. Estas grades são fixadas sob as vigas principais e secundárias do projeto através de presilhas de fixação, que em média são utilizadas aproximadamente 4 (quatro) presilhas por metro quadrado de grades de piso que são adquiridos com o mesmo fornecedor das grades.

Em função da grande quantidade de presilhas que são utilizadas em uma obra, as mesmas tornam-se um item crucial à serem avaliadas na redução de custos. No presente trabalho de pesquisa será elaborado o projeto de um novo modelo de presilhas e comparado seu desempenho com o modelo já existente em mercado através da fabricação de um protótipo, simulando uma passarela metálica. Também serão elaborados estudos relacionados ao custo unitário das presilhas visando a identificação do tempo de *payback* do investimento e executado os pré-projetos relacionados as matrizes para fabricação das presilhas por meio de estampagem e dimensionada a prensa necessária para executar o estampo.

1.1 Objetivo geral

Constitui em projetar, construir e testar presilhas de fixação de grades de piso visando sua validação e desenvolvimento futuro de uma matriz para fabricação seriada.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Elaborar o projeto de um novo modelo de presilha que possa ser utilizada para fixação de grades de piso com malhas de 30 a 35 mm;
- Através da fabricação de protótipos, validar o desempenho sob vibração da nova presilha projetada em relação ao modelo já existente em mercado;
- Verificar o custo unitário de fabricação da presilha e o tempo de retorno do investimento (*payback*);
- Realizar o modelamento 3D de dois pré-projetos de matrizes de estampagem que atendam a necessidade de fabricação seriada dos elementos superiores e inferiores das presilhas;
- Verificar as forças necessárias para realização dos processos de corte, dobra e furação do material, visando o dimensionamento da prensa necessária para tal atividade;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados diferentes conceitos aplicáveis para obtenção de informações básicas na elaboração de um projeto de uma ferramenta de estampagem e dimensionamento da prensa a ser utilizada. Serão pontuados os principais modelos de grades de piso disponíveis em mercado para o ramo de estruturas metálicas e seus respectivos métodos de fixação através das presilhas.

2.1 Estampagem

Segundo Mesquita e Rugani (1997), a estampagem é composta por diversas operações de conformação a frio realizadas na região plástica de deformação do material, como por exemplo o corte, furação, dobramento e o repuxo, no objetivo de obter como produto final uma peça com formas variadas.

Um dos componentes principais para o processo de estampagem são as prensas, que proporcionam a força e os movimentos necessários para a realização do processo por meio de sistemas hidráulico, pneumático ou mecânico. O modelo de prensa a ser utilizado deve ser selecionado mediante aos cálculos das forças que serão aplicadas para a estampagem da peça

em questão, em função das capacidades de carga que cada modelo prensa é capaz de proporcionar.

As ferramentas de estampagem são denominadas de estampos e são responsáveis por modelar e deformar o material no formado desejado mediante a aplicação dos movimentos de carga da prensa.

2.1.1 Ferramentas de Estampagem

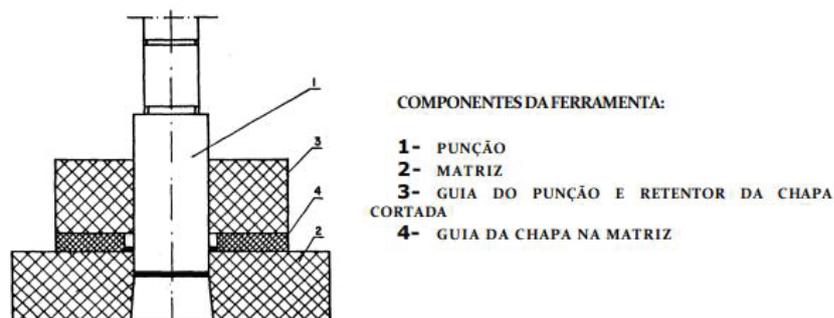
As ferramentas de estampagem são fundamentais para o setor industrial. Amplamente utilizadas na produção seriada de peças, proporcionam alta produção e agilidade nos processos.

As ferramentas de estampagem são classificadas por Filho, Silva, *et.al.* (2011) em ferramentas de corte, ferramentas de dobramento e ferramentas de estampagem profunda.

2.1.1.1 Ferramentas de Corte

As ferramentas de corte são formadas basicamente por uma matriz, punção e guias, onde as seções transversais da matriz e dos punções irão determinar o formato da peça que será cortada, tendo como parâmetro indispensável a folga entre o punção e a matriz, cuja qual é determinada em função da espessura da chapa e do tipo de material que será cortado (Filho, Silva, *et.al.* 2011). A Figura 1 representa um modelo de ferramenta de corte.

Figura 1 - Ferramenta de Corte



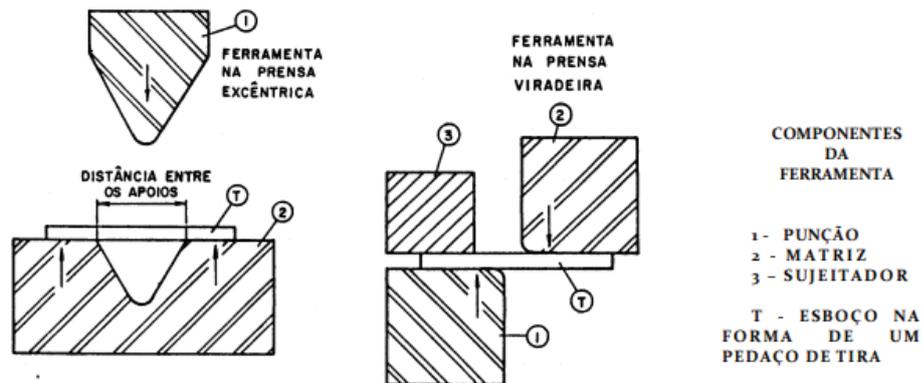
Fonte: Adaptado de Filho, Silva, *et.al.* (2011).

2.1.1.2 Ferramentas de Dobramento

Os estampos de dobramento possuem a finalidade de executar dobras pré-definidas em peças. Define-se na matriz inferior o molde da dobra através da distância de abertura e com a carga impressa pela matriz superior sob a peça efetua a dobra da mesma.

Pode-se também efetuar a dobra de uma peça fixando uma de suas laterais e exercendo uma força na sua outra extremidade, conforme pode-se verificar na Figura 2.

Figura 2 - Ferramenta de dobramento.



Fonte: Adaptado de Filho, Silva, *et.al.* (2011).

Assim que a dobra é efetuada durante o processo de dobramento a tendência do material é retornar ao seu estado inicial, sendo que, o tanto que o material irá retornar depende principalmente da propriedade do material atrelada ao módulo de elasticidade. Para projetos em que necessitam de uma maior precisão dimensional e não permitam estas deformações, é aconselhável que seja previsto na matriz um ângulo mais acentuado para que após sua retração a peça esteja em sua dimensão final (Neves, 2013).

Um ponto crítico do projeto de matrizes são os raios de canto, os quais podem provocar trincas se apresentarem cantos vivos. Filho, Silva *et.al.* (2011) definem que:

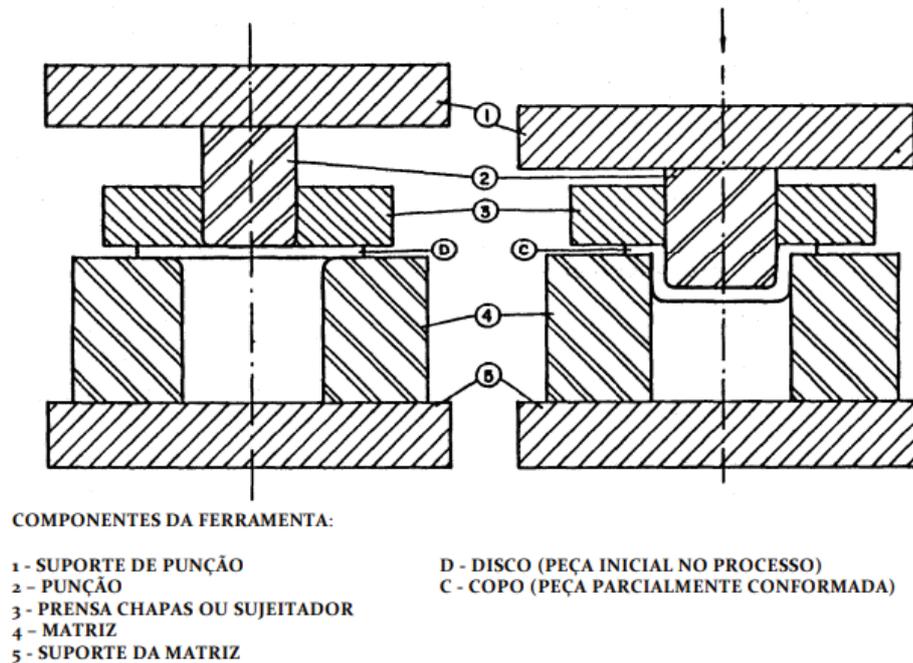
Para o dobramento deve-se levar em conta o raio de curvatura utilizado para a peça e a elasticidade do material. Deve-se, ainda, evitar os cantos-vivos, sendo, portanto necessário fixar os raios externos de curvatura, a fim de que não ocorra ruptura durante o dobramento. O raio de curvatura deve ser entre uma e duas vezes a espessura da chapa para materiais moles, e entre três e quatro vezes para materiais duros.

2.1.1.3 Ferramentas de estampagem profunda

As matrizes para estampagem profunda são comumente utilizadas para estampagem de peças cônicas ou profundas, como por exemplo bacias, copos, etc.

A base inferior da matriz é fabricada nas dimensões necessárias para conformação da peça. Sob a matriz inferior será apoiado o sujeitador, o qual servirá para fixar a chapa e prendê-la contra a matriz inferior. Após o acionamento da prensa, o punção superior penetra sob o sujeitador deformando plasticamente a peça no formato desejado e impresso na matriz inferior, conforme demonstrado no exemplo da Figura 3:

Figura 3 - Ferramenta de estampagem profunda



Fonte: Adaptado de Filho, Silva, *et.al.* (2011).

2.1.2 Durabilidade de punções de corte

Ao longo do tempo de utilização da matriz seus componentes de corte irão apresentar desgastes em função da quantidade de operações realizadas, com isso, a qualidade do acabamento torna-se inferior. Para corrigir estas imperfeições pode-se realizar a retificação e posteriormente a têmpera do material para que, por fim, realizar a afiação do punção e da matriz, deixando suas arestas novamente adequadas para o corte.

Segundo Filho, Silva, *et.al.* (2011), em casos de punções cilíndricos de pequenas dimensões, uma ferramenta pode fabricar de vinte a trinta mil peças sem necessidade de retificação, sendo que para cada estampo pode-se realizar até quarenta retificações, ou seja, pode-se atingir até o número de um milhão de operações.

2.1.3 Componentes de uma ferramenta de estampo

O projeto de uma matriz é composto por diversos componentes, que podem variar de acordo com a forma de construir o ferramental e com a aplicabilidade da matriz. Através dos processos no qual a mesma será empregada pode-se definir os elementos que farão parte do conjunto.

A matriz necessita ser robusta, garantindo a rigidez para que ao exercer a carga para deformação do material não se movimente, garantindo a qualidade dimensional da peça à ser fabricada.

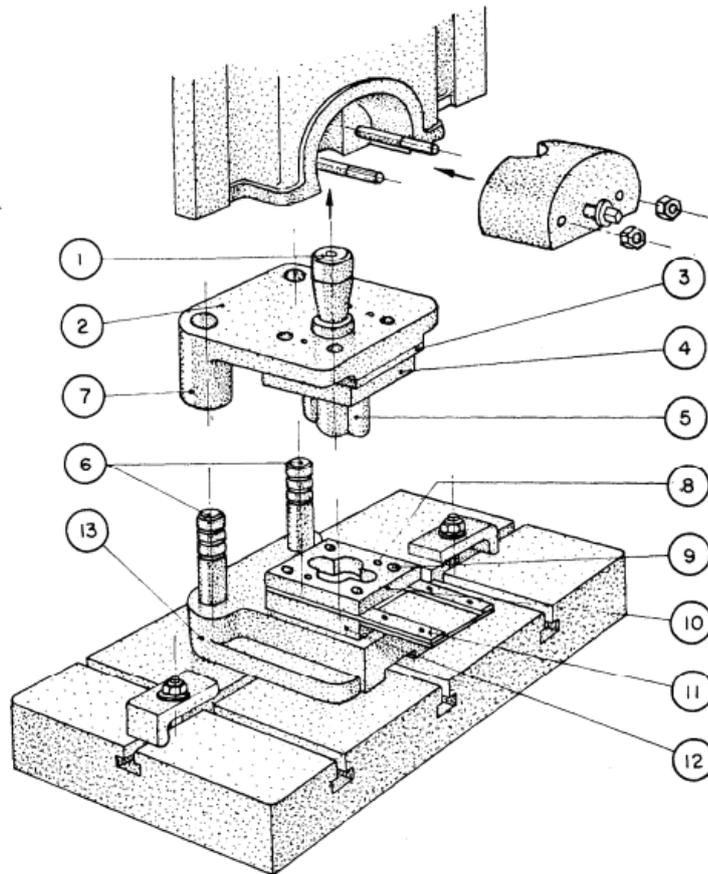
Os estampos são compostos por 2 grupos de elementos: 1) elementos comuns para qualquer tipo de ferramenta, como por exemplo a base, cabeçote, colunas de guia, espiga, etc, e 2) formados por elementos específicos e que são responsáveis pelo formato final da peça que será produzida (punção e matriz) (Marcondes, 2008).

Na Figura 4 estão identificados os elementos que compõem uma ferramenta de estampo.

Figura 4 - Elementos que compõem uma ferramenta de estampo

NOMENCLATURA

- 1 – Espiga
- 2 – Cabeçote
- 3 – Placa de choque
- 4 – Porta-punção
- 5 – Punção
- 6 – Colunas de guia
- 7 – Buchas
- 8 – Pinos de fixação
- 9 – Parafusos
- 10 – Extrator
- 11 – Guias da chapa
- 12 – Matriz
- 13 – Base inferior



Fonte: Adaptado de Marcondes (2008).

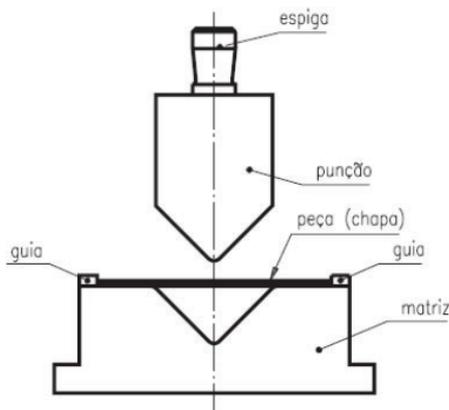
2.1.4 Matrizes e punções

As matrizes e os punções são primordiais para a estampagem da peça desejada. O punção possui o formato positivo da peça, enquanto a matriz, possui exatamente o mesmo formato, porém com formato negativo, aplicando-se as folgas devidas, a penetração do punção na matriz transpassando a chapa efetua o corte.

As matrizes além de terem de ser produzidas com material de excelente qualidade e com máxima precisão, necessitam de um ângulo de saída para facilitar o escoamento do material que foi cortado da pelo punção (Junior & Caversan, 2012).

Na Figura 5 pode-se verificar uma representação de uma ferramenta para dobrar, no qual é utilizado o sistema de matriz e punção para conformação da peça.

Figura 5 - Representação de uma ferramenta com o sistema de matriz e punção



Fonte: Adaptado de Neves (2013)

2.1.5 Materiais para fabricação de ferramentas de estampagem

Em um projeto de ferramenta para estampagem, a solicitação de esforços em cada elemento varia de acordo com as funções que cada um exerce no conjunto durante a operação.

Marcondes (2008), avalia que a eficiência de uma ferramenta depende de um bom projeto, da escolha criteriosa dos materiais empregados na confecção da matriz e do grau de acabamento e de tratamento dados aos elementos da mesma. Diante disso, o mesmo, pré-estabelece alguns dos possíveis materiais que podem ser empregados para cada componente da ferramenta no Tabela 1.

Tabela 1 - Definição de material estrutural para componentes da ferramenta de estampo

Definição de Material Estrutural para Componentes da Ferramenta de Estampo			
	Denominação	Material	Função
1	Punções	Sverker - RT60 Triumph - RCC Hatori - Ve130 VET3 - VND - VC 130 VC131 - VW1 - VW3 VT131 (temperado e retificado 62-64 HRC) para trabalho à quente; VW9 - VPCW	Elementos fundamentais que junto com a matriz conformam a chapa plana em produtos.
2	Matriz	Mesmo material dos punções	Peça importante que, juntamente com o punção, conforma o produto.

Fonte: Adaptado de Marcondes (2008).

2.1.6 Força de corte

Para realização de um procedimento de estampagem é imprescindível as avaliações das forças que estão relacionadas à este processo. As forças de corte podem ser maiores ou menores de acordo com as variáveis do tipo do material, tipo de punção, geometria da peça à ser estampada e a inclinação das facas das guilhotinas.

2.1.6.1 Força de corte para punçionamento

O punçionamento é executado para cortar segmentos em geometrias variadas, como furo por exemplo, através da utilização de um punção e uma matriz. A força de corte no punçionamento é definida por Junior & Caversan (2012) através da equação 1.

$$F_c = A_c \cdot \sigma_{cis} \quad (1)$$

Na equação 1, F_c define a força de corte (N), A_c define a área de corte (mm^2) e σ_{cis} define a tensão de cisalhamento do material que será cortado (N/mm^2).

A tensão de cisalhamento de um material pode ser definida por um valor aproximado de 80% da tensão de ruptura do material especificado (Neves, 2013).

Tendo que, a força de corte é o produto entre a área de corte e a tensão de cisalhamento, define-se a área de corte através da equação 2:

$$A_c = l_c \cdot e \quad (2)$$

Na equação 2, A_c define a área de corte (mm^2), e define a espessura do material à ser cortado (mm) e l_c define o perímetro de corte (mm).

2.1.6.2 Força de corte para guilhotina com facas paralelas

As guilhotinas são utilizadas para realizar cortes finais nas seções das peças e definidas por Junior & Caversan (2012) através da equação 3.

$$F_c = A_c \cdot \sigma_{cis} \quad (3)$$

Na equação 3, F_c define a força de corte (N), A_c define a área de corte (mm^2) e σ_{cis} define a tensão de cisalhamento do material que será cortado (N/mm^2).

2.1.7 Força de dobramento por prensa chapas

A utilização de ferramentas de dobra para conformação a frio de perfis é extremamente comum, portanto, definir a força necessária para executar a dobra é de suma importância para dimensionamento da prensa que poderá ser utilizada na execução da atividade.

A força de dobramento através do método de prensa chapas é definida pela equação 4.

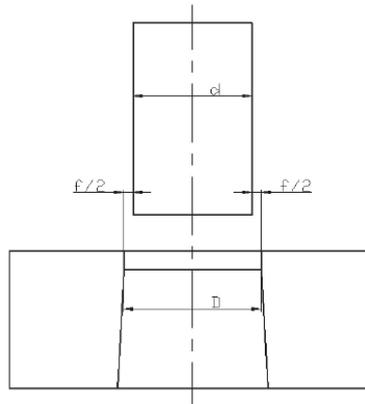
$$F_d = (l_d \cdot e \cdot \sigma_{rup}) \div 3 \quad (4)$$

Na equação 4, F_d define a força de dobramento (N), l_d define o comprimento da dobra (mm), e define a espessura do material que está sendo dobrado (mm) e σ_{rup} define a tensão de ruptura do material que será dobrado (N/mm^2).

2.1.8 Folga entre punção e matriz

As folgas excessivas entre as matrizes e os punções podem provocar rebarbas nas peças, contudo, pequenas folgas podem antecipar o desgaste das arestas de corte (Junior & Caversan, 2012). Na Figura 6 estão demonstradas as geometrias e a representação básica das folgas entre o punção e a matriz.

Figura 6 - Folgas entre matriz e punção



Fonte: Adaptado de Junior & Caversan (2012).

Para chapas com espessuras menor ou igual a 3 mm, a folga é definida pela equação 5.

$$\frac{f}{2} = 0,005 \cdot e \cdot \sqrt{\sigma_{cis}} \quad (5)$$

Para a equação 5, $f/2$ define a folga entre a matriz e o punção (mm), e define a espessura do material que será cortado pelo punção (mm) e σ_{cis} define a tensão de cisalhamento do material que será cortado (kgf/mm^2).

Para chapas com espessuras maiores que 3 mm de espessura, a folga entre a matriz e o punção é definida através da equação 6.

$$\frac{f}{2} = (0,010 \cdot e - 0,015) \cdot \sqrt{\sigma_{cis}} \quad (6)$$

Para a equação 6, $f/2$ define a folga entre a matriz e o punção (mm), e define a espessura do material que será cortado pelo punção (mm) e σ_{cis} define a tensão de cisalhamento do material que será cortado (kgf/mm^2).

2.1.9 Espessura da matriz e distância entre recortes e furações

Ao acionar a prensa o punção descera sob a chapa exercendo a força de corte. A matriz deve possuir uma espessura suficiente afins de suportar os esforços aplicados sob ela (Junior & Caversan, 2012). A espessura da matriz é definida através da equação 7.

$$S = \sqrt[3]{F_{total}} \quad (7)$$

Para a equação 7, S define a espessura da matriz (mm), F_{total} define a força total de corte (kgf), ou seja, é o somatório de todas as forças que serão aplicadas à peça que está sob a matriz.

2.2 Tratamento térmico de têmpera

Na metalurgia é muito comum necessitarmos de materiais de alta dureza para realizar determinadas funções em um projeto, e para isso, a implementação de processos térmicos como a têmpera nestes elementos para alterar as suas propriedades mecânicas de maneira que atendam às necessidades de projeto torna-se uma opção.

As propriedades mecânicas de um aço estão diretamente ligadas à sua microestrutura, que influencia na dureza, ductilidade, resistência mecânica e tenacidade. As diversas aplicações possíveis para um aço requerem diferentes combinações de características, que são possíveis de serem obtidas por meio de diversos tipos de tratamentos térmicos que alteram as propriedades do aço e dentre eles está o tratamento de têmpera. (Born & Mattos, 2018, p. 208)

Durante o processo de têmpera diversas variáveis podem influenciar nas características e propriedades mecânicas que serão obtidas pelo processo. Chiaverini (2012) destaca que as principais variáveis do processo de têmpera são as velocidades de aquecimento, a temperatura de aquecimento, o tempo de exposição do material à temperatura de aquecimento, o controle da atmosfera do forno (à fins de evitar o surgimento de “casca de óxido” e a descarbonetação do material), a seleção do método e fluido de resfriamento e a agitação deste fluido.

A implementação do processo de tempera nos elementos estruturais tem por objetivo a obtenção da estrutura de martensita, sendo que para isso é necessário submeter o aço à temperatura de austenitização, resultando assim após seu resfriamento em alterações de dureza, resistência ao desgaste, aumento na resistência à fadiga por dobramento, aumento nas resistências das cargas de contato e empenamento (Chiaverini, 2012).

A velocidade de resfriamento é um fator preponderante no processo de tempera de determinada peça, nota-se também que quanto este fator varia significativamente de acordo com a viscosidade do óleo. Quanto maior a viscosidade, menor será o tempo de resfriamento e resultando uma microestrutura de menor dureza em relação à utilização de água como fluido refrigerante (Born & Mattos, 2018).

2.3 Registros de patentes

A busca por produtos que estejam patenteados e resguardados foi realizada em 20 de Abril de 2022, onde não foi encontrado registros referentes as presilhas de fixação de grades.

2.4 Grades de piso metálicas

Conforme Marangoni-Meiser Pisos Metálicos Ltda (2021), as grades metálicas são largamente utilizadas na indústria, na arquitetura e também em manutenção de estruturas já existentes, oferecendo grande transparência e capacidade de carga onde forem aplicadas.

O mercado dispõe de variados modelos de grades de piso que são utilizadas de acordo com o ambiente e aplicação na qual será empregada.

A facilidade de colocação e remoção, excelente manutenção, permitindo melhor ventilação em qualquer ambiente, principalmente em meios agressivos, fazem que as grades sejam amplamente recomendadas nos mais diversos projetos de instalações industriais, empresas de petróleo, mineração, petroquímicas, siderurgias, fábricas de papel e celulose, vidrarias, indústria de alimentos, entre várias outras. (Sibrol do Brasil Ltda, 2019, p. 9)

Conforme destaca a norma ABNT NBR 16696 (2018), as grades de piso são constituídas por barras portantes em barras chatas e por barras secundárias, cujas quais podem ser fabricadas também em barras chatas ou em barras redondas. Dois dos aspectos fundamentais das grades a serem definidos são:

- Variação do modelo da barra secundária;
- Malha (distância de afastamento entre as barras portantes que apoiam sobre as vigas)

Abaixo, serão retratadas as principais características das variações citadas.

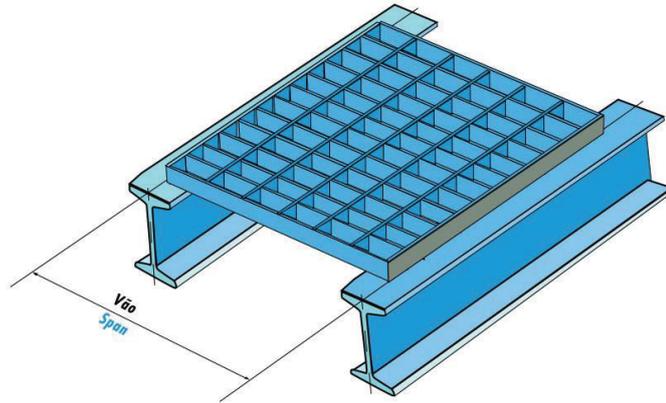
2.4.1 Variações de barra secundária

As grades de piso podem conter em sua composição, variações alternadas de barras secundárias, como barra chata, barra redonda lisa e barra quadrada torcida.

2.4.1.1 Grade com barra secundária em barra chata

Este modelo de grade de piso é fabricado inteiramente com barras chatas, tanto nas barras portantes como nas secundárias. Na Figura 7 pode-se verificar a representação da grade.

Figura 7 - Grade de piso com barra secundária fabricada em barras chatas

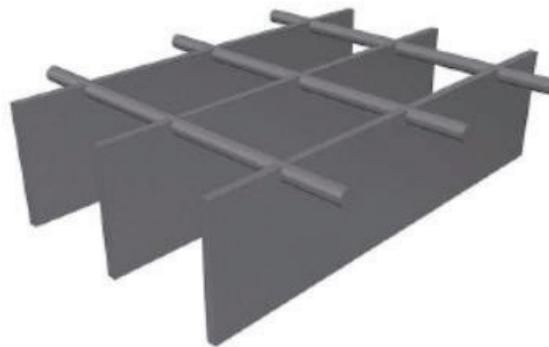


Fonte: Adaptado de Sibrol do Brasil Ltda (2019).

2.4.1.2 Grade com barra secundária redonda lisa

Este modelo de grade de piso é fabricado com barras chatas portantes e com barras secundárias redondas. Na Figura 8 pode-se verificar a representação da grade.

Figura 8 - Grade de piso com barra secundária redonda lisa

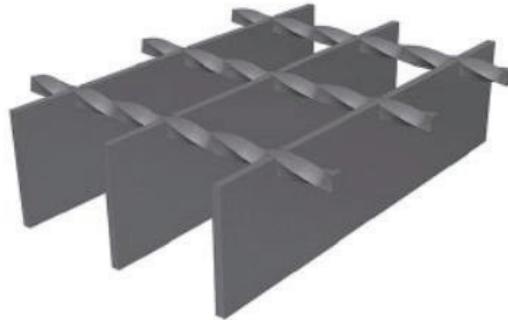


Fonte: Adaptado de Marangoni-Meiser Pisos Metálicos Ltda (2021).

2.4.1.3 Grade com barra secundária quadrada torcida

Este modelo de grade de piso é fabricado com barras chatas portantes e com barras secundárias quadradas que passam por processo de torção, desta forma, proporciona uma maior segurança em relação a escorregamento (Marangoni-Meiser Pisos Metálicos Ltda, 2021). Na Figura 9 pode-se verificar a representação da grade.

Figura 9 - Grade de piso com barra secundária quadrada torcida



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16696 (2018).

2.4.2 Variações de Malha

Cada fornecedor possui destacado em seus catálogos as malhas e padrões de grades de piso que o mesmo dispõe para fabricação. Para o estudo de malhas estaremos utilizando como base duas das malhas mais usuais no segmento industrial e agrícola da atualidade.

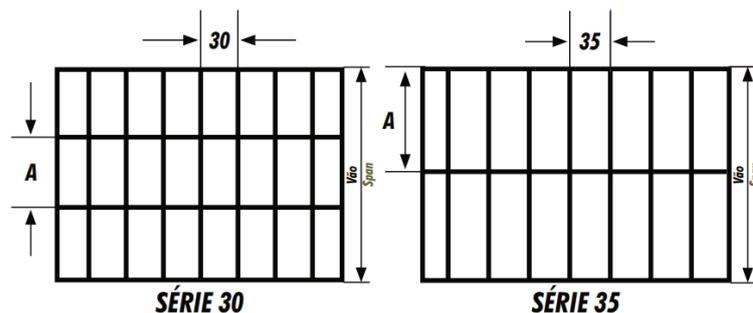
A escolha da malha a ser utilizada na grade varia muito de acordo com o critério do engenheiro. Em linhas gerais, as grades com malha mais afastada possuem um peso próprio menor; entretanto, quando utilizadas em estruturas muito altas podem gerar certo desconforto nos usuários, sensação de insegurança. Para contornar essa situação, é possível selecionar uma grade com uma malha menor, mesmo sabendo-se que resultará em um peso (e, conseqüentemente, em um custo) maior. (Pravia, Ficanha, & Fabeane, 2013, p. 43)

Os modelos à serem avaliados serão os seguintes:

- Malha de 30mm de distância entre eixos das barras portantes;
- Malha de 35mm de distância entre eixos das barras portantes;

Na Figura 10 estão representados os desenhos referentes as malhas em questão.

Figura 10 - Malhas de piso (distância em milímetros e entre eixos das barras chatas)



Fonte: Adaptado de Sibrol do Brasil Ltda (2019).

As dimensões disponíveis referentes as dimensões “A” destacadas, podem ser verificadas no Tabela 2.

Tabela 2 - Comprimentos longitudinais disponíveis para as malhas

Malhas	A (mm)		
Série 30	30	50	100
Série 35	35	70	105

Fonte: Adaptado de Sibrol do Brasil Ltda (2019).

2.5 Presilhas de Fixação para Grades de Piso

As presilhas são dispositivos fabricados com a finalidade de fixar as grades de piso sob as vigas nas quais as mesmas estão apoiadas. São compostas por basicamente 3 componentes:

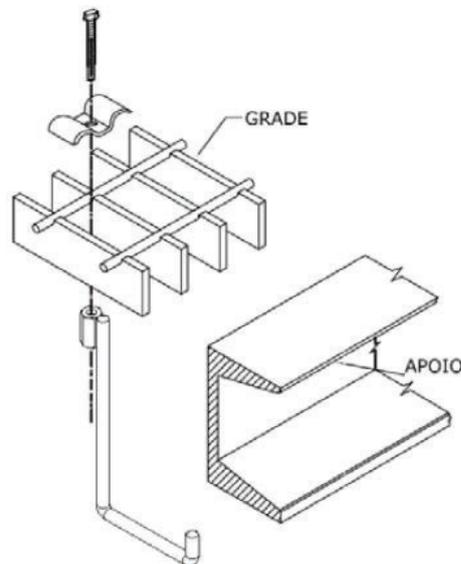
- Elemento dobrado superior: responsável pelo encaixe na parte superior das barras chatas.
- Elemento dobrado inferior: responsável pelo encaixe na parte inferior da grade e também por calçar o grampo na viga de apoio da grade, o qual dará firmeza e rigidez ao sistema.
- Conjunto de parafuso, porca e arruela: responsável por comprimir os elementos dobrados superiores e inferiores. A utilização da arruela é opcional.

A variação no modelo da presilha fica por conta do elemento inferior, que tem seu modelo alterado em função do tipo de perfil no qual a grade deverá ser fixada. Serão demonstrados alguns dos principais modelos de presilhas utilizados no mercado.

2.5.1 Presilha “Tipo 1 – em J”

Este modelo de presilha é utilizado para fixação da grade de piso em perfil tipo “U”. Seu elemento inferior é fabricado a partir de um ferro redondo dobrado, onde o mesmo, é acoplado pela parte das costas do perfil, conforme exemplificado na norma da ABNT NBR 16696 (2018) e representada na Figura 11 abaixo.

Figura 11 - Representação de montagem de presilha "Tipo 1 – em J"

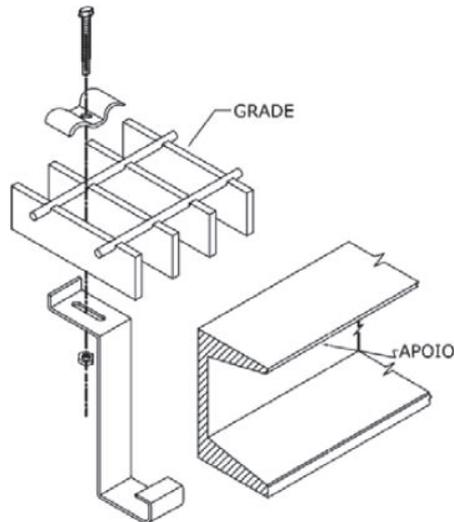


Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16696 (2018).

2.5.2 Presilha “Tipo 1 – em Z”

De acordo com a demonstração feita na norma da ABNT NBR 16696 (2018), Este modelo de presilha, assim como o “Tipo 1 em J”, também utilizado para fixação da grade de piso em perfil tipo “U”, a diferença entre ambos é a utilização de uma chapa dobrada como elemento inferior, onde é acrescido uma aba enrijecida e um furo oblongo permitindo o ajuste no sentido longitudinal da presilha. Na Figura 12 pode-se verificar a representação de montagem deste modelo em questão.

Figura 12 - Representação de montagem de presilha "Tipo 1 – em Z"

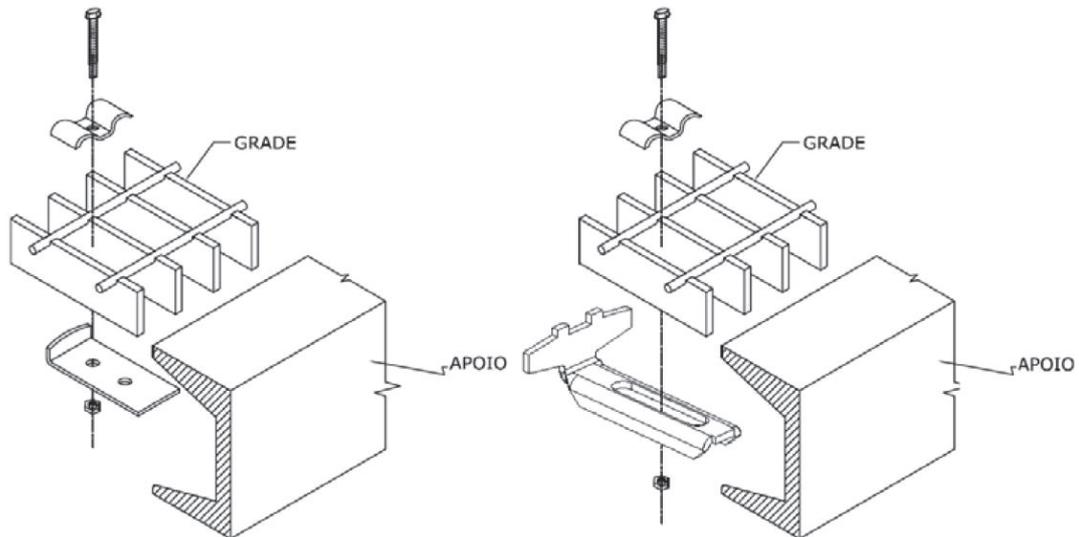


Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16696 (2018).

2.5.3 Presilha “Tipo 2 – para fixação em mesas de perfis.

Seguindo a representação destacada na norma ABNT NBR 16696 (2018), o modelo de presilha em questão é o mais usual e será o objeto de estudo do presente trabalho. É utilizado para fixação das grades de piso nas mesas superiores dos perfis, como perfil tipo “U” ou tipo “I”, por exemplo. Na Figura 13 é demonstrada o sistema de montagem da presilha.

Figura 13 - Representação de montagem de presilha "Tipo 2 – para fixação em mesas de perfis"



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16696 (2018).

2.6 Vibrações em estruturas metálicas

Os sistemas de pisos suscetíveis a vibrações devem ser dimensionados de tal maneira que se evite o aparecimento de vibrações transientes inaceitáveis em função do caminhar de pessoas, como exemplifica o Anexo L referente vibrações em pisos da norma ABNT NBR 8800 (2008).

Para pisos em que as pessoas caminham regularmente como residências ou escritórios a menor frequência natural não pode ser inferior a 4Hz, assim como, para pisos em que as pessoas

possam saltar ou dançar de maneira rítmica como academias, salões de dança ou ginásios de esportes, a menor frequência natural não pode ser inferior a 6 Hz, devendo ser aumentada para 8Hz em caso da atividade ser repetitiva constantemente (ABNT, 2008).

2.7 Instalação e torqueamento de parafusos

Para instalação de parafusos de alta resistência, os mesmos devem ser apertados de tal forma com que possa se obter uma força mínima de protensão. Esta força pode variar de acordo com o diâmetro e tipo de parafuso que for utilizado. Para parafusos ASTM a força de protensão equivale a cerca de 70% da força de tração de resistência nominal do parafuso (ABNT, 2008).

Na Tabela 3 estão destacadas as forças indicadas de protensão em parafusos da classe ASTM A325.

Tabela 3 - Força de protensão em parafusos

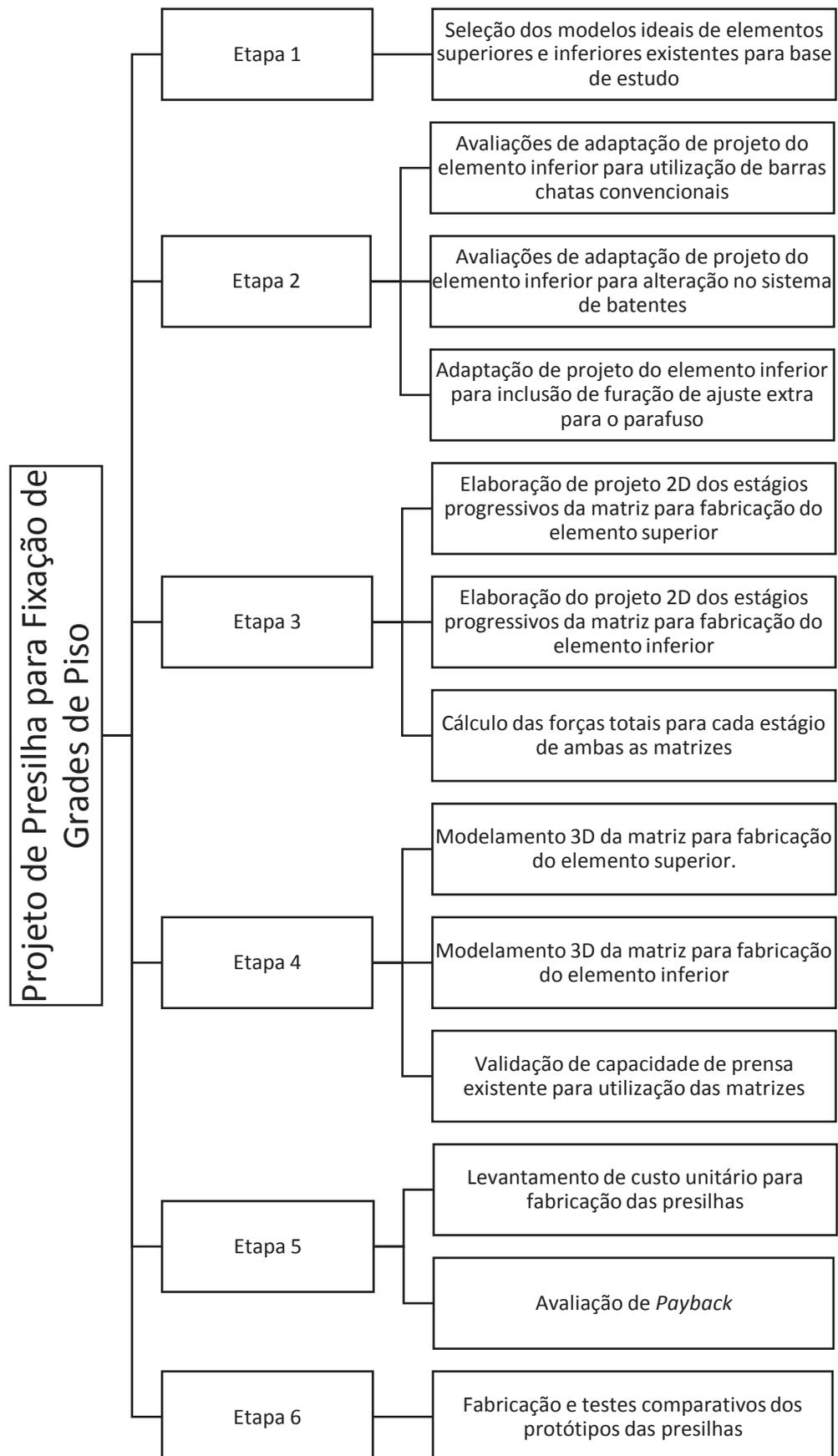
Diâmetro do Parafuso	Força de Protensão (KN)
Polegadas	ASTM A325
1/2	53
5/8	85
3/4	125
7/8	173
1	227
1.1/8	250
1.1/4	317
1.1/2	460

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8800 (2008)

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto de uma ferramenta para fabricação de presilhas para grades de piso, serão necessárias etapas de avaliação para selecionarmos os modelos ideais de presilhas e também avaliações de ajustes no projeto das mesmas, visando otimizar o processo fabril e reduzir custo do produto. Os passos propostos para obtenção do resultado final desejado estão representados na Figura 14.

Figura 14 - Etapas para desenvolvimento do projeto.

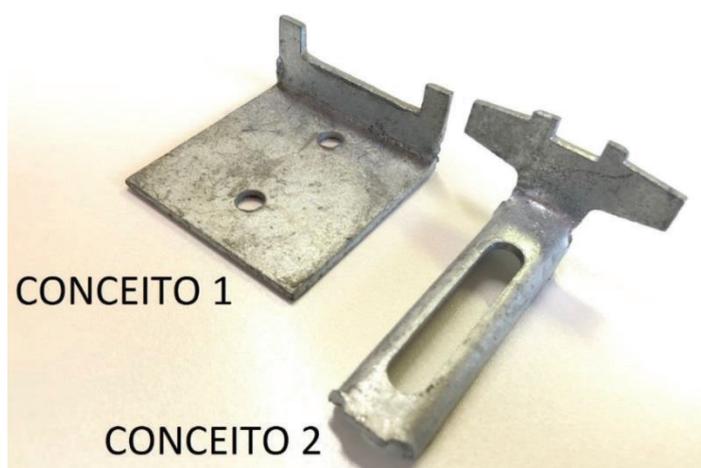


3.1 Seleção dos modelos ideais de elementos superiores e inferiores existentes para base de estudo

As presilhas mais utilizadas no mercado são as presilhas do “Tipo 2 – para fixação em mesas de perfis”, em função destas bitolas serem as mais utilizadas em construções. O que diferencia um modelo de presilha de um fornecedor para outro é o modelo de elemento inferior.

No mercado de ponta, existem dois conceitos muito utilizados deste elemento, o conceito 1 é produzido simplesmente com uma chapa dobrada em perfil “L” com 2 furações para opção de ajuste no sentido longitudinal. O conceito 2 se assemelha à um perfil “U” com uma furação oblonga que permite deslocar o parafuso para ajuste de maneira livre no sentido longitudinal. A Figura 15, apresenta ambos os conceitos citados.

Figura 15 - Conceitos para elementos inferiores



Fonte: O Autor (2022).

Desta forma, a escolha do conceito ideal para o elemento inferior será entre os conceitos 1 e 2 descritos.

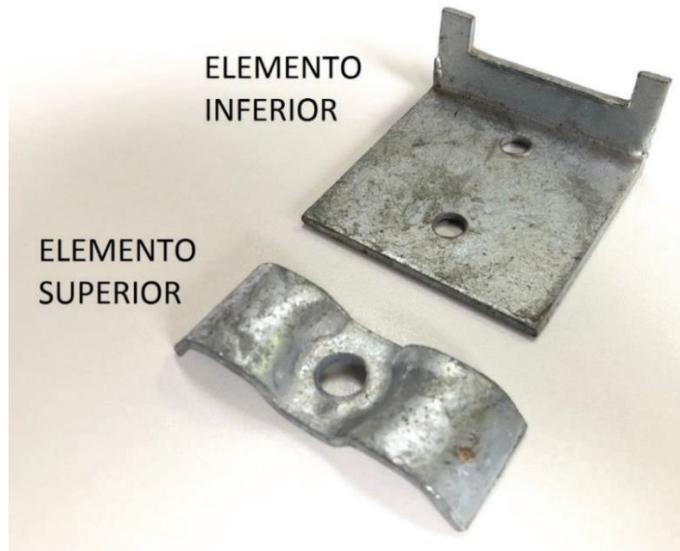
Um dos principais problemas crônicos enfrentados durante a montagem de obras que possuem grades metálicas é a necessidade de reaperto frequente dos parafusos. Em função da grande movimentação, tráfego de equipes de trabalho e impactos sofridos pelas grades durante a montagem de equipamentos as presilhas apresentam um afrouxamento dos parafusos depois de certo tempo.

Foram executadas consultas com diferentes equipes de montagem de campo das estruturas e identificado que o modelo no qual menos apresenta necessidade de reaperto dos parafusos é o modelo 1, feito com uma chapa dobrada em perfil “L”.

Já para o elemento superior dos conceitos 1 e 2, ambos são extremamente similares e atendem as necessidades do projeto.

Na Figura 16, estão destacados os modelos de elementos superiores e inferiores que estão disponíveis no mercado e foram selecionados para serem base de estudo de alterações em seu projeto.

Figura 16 - Modelo do elemento superior e inferior selecionado para compor a presilha para base de estudo



Fonte: O Autor (2022).

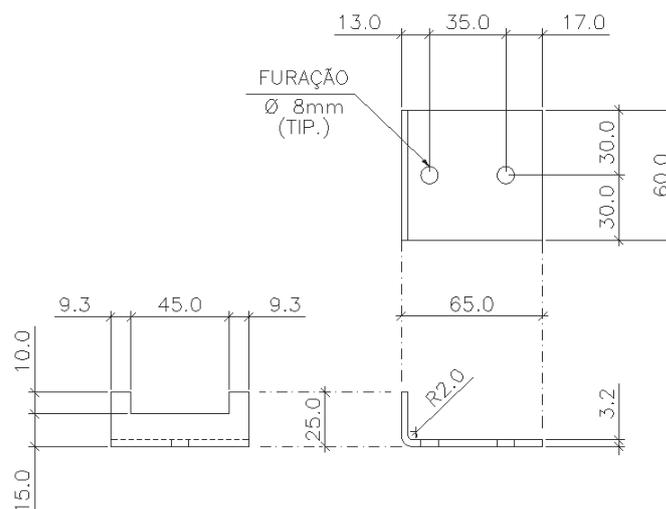
3.2 Alterações de concepção de projeto das presilhas

Apesar de não terem sido identificados registros de patentes, foram executadas alterações de projeto necessárias visando a otimização, aproveitamento e redução de matéria prima que será utilizada na fabricação dos elementos inferiores das presilhas.

3.2.1 Avaliações de adaptação de projeto do elemento inferior para utilização de barras chatas convencionais

Foram verificadas as dimensões do elemento inferior disponível em mercado, nas quais, as amostras verificadas apresentaram as mesmas medidas, de acordo com o desenho demonstrado na Figura 17.

Figura 17 - Projeto do modelo de elemento inferior original disponível no mercado



MODELO ORIGINAL DE MERCADO PARA ELEMENTO INFERIOR
ESC.: 1: 2.5

Fonte: O Autor (2022).

Pode-se verificar pelos acabamentos laterais das peças analisadas e pelas dimensões de largura do elemento (fora das unidades de medidas de polegadas) que o mesmo não é fabricado através de uma conformação de barras chatas convencionais compradas em usinas ou em distribuidoras, e sim, é efetuado o recorte de uma tira de 60 mm de largura a partir de uma chapa desbobinada de espessura 3,18mm (1/8" de polegada).

Foram avaliadas reduções na largura da peça para que fosse possível utilizar uma barra chata de 3,18 mm de espessura (1/8" de polegada) e eliminar assim, o processo de corte no plasma, garantindo melhor acabamento nas laterais do elemento e um menor custo de produção, tendo em vista que a barra chata entrará em processo de produção na matriz sem necessidade de passar pelo processo de corte.

Conforme pode-se verificar na Figura 18, a maior barra chata disponível em mercado atualmente na espessura solicitada de 3,18 mm (1/8" de polegada) é a barra chata de 50,8mm de largura (BR.2"x1/8").

Figura 18 - Verificação de barras chatas Gerdau S.A. para espessuras de 1/8" de polegadas

Tabela de Peso Nominal (kg/m)																				
Espessura (e)		Largura (l) pol e mm																		
pol	mm	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1.1/4"	1.1/2"	1.3/4"	2"	2.1/2"	3"	3.1/2"	4"	4.1/4"	4.1/2"	4.3/4"	6"	
	2,50		0,25	0,31																
1/8"	3,18	0,24	0,32	0,40	0,48	0,55	0,63	0,79	0,95		1,27									
3/16"	4,76		0,47	0,79	0,71	0,83	0,95	1,19	1,42		1,90									
1/4"	6,35		0,63		0,95	1,11	1,27	1,58	1,90		2,53	3,17	3,80		5,06				7,60	
5/16"	7,94						1,58	1,98	2,37		3,17	3,96	4,75		6,33				9,50	
3/8"	9,53						1,90	2,38	2,85		3,80	4,75	5,70		7,60				9,03	11,40
1/2"	12,70					2,22	2,53	3,17	3,80		5,06	6,33	7,60		10,13					15,19
5/8"	15,88								4,75	5,54	6,33	7,92	9,50	11,08	12,67		11,40			19,00
11/16"	17,46													12,18						
3/4"	19,05										7,60	9,50	11,40	13,29	15,19					22,79
1"	25,40										10,13	15,19	17,73	20,26						30,39
1.1/4"	31,75													25,32						
1.1/2"	38,10													30,39	32,29					
2"	50,80												30,39							

Fonte: Adaptado de Gerdau S.A. (2021)

Perante à esta avaliação podemos concluir que o novo projeto do elemento inferior será adaptado para uma largura de 50,8 mm.

3.2.2 Avaliações de adaptação de projeto do elemento inferior para alteração no sistema de batentes

O elemento inferior possui batentes laterais em suas extremidades que permitem que as barras chatas das grades de piso não se desloquem para fora da presilha.

Com a redução da largura do elemento inferior não seria mais possível executar a montagem das presilhas em malhas de 35mm utilizando os batentes laterais, desta forma, foi necessário elaborar um estudo para alterar o sistema de batentes das presilhas.

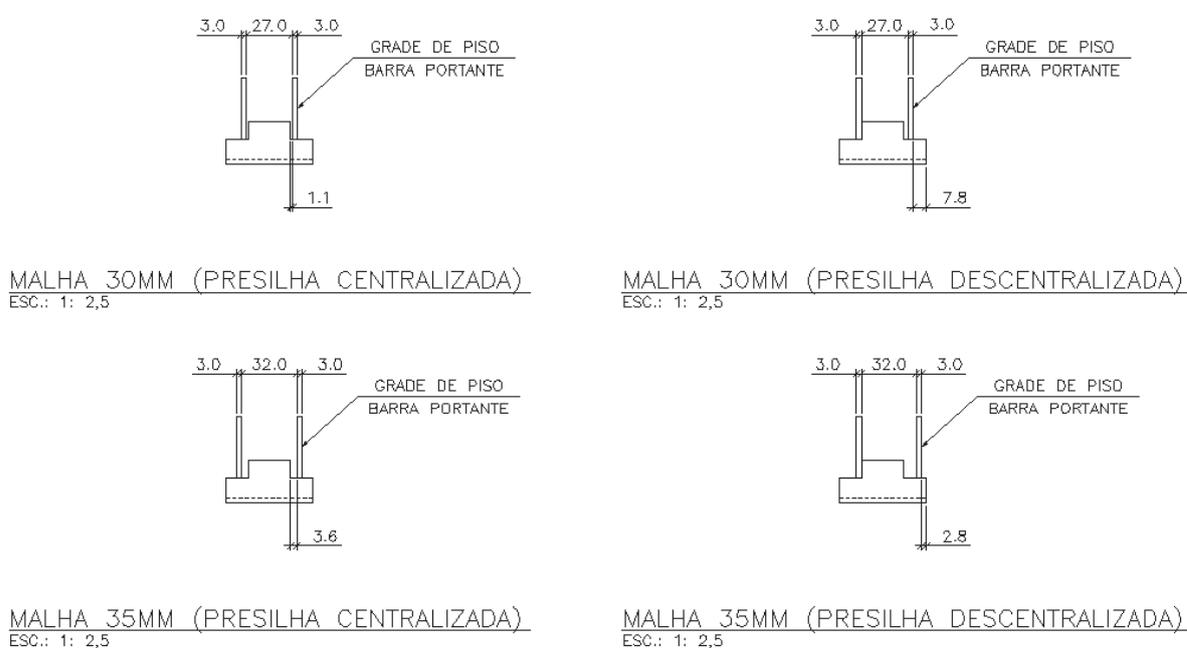
Foi executada a substituição dos dois batentes laterais por apenas um batente centralizado, que cumpre a mesma função mecânica de prevenir que as barras chatas da grade se desloquem para fora da presilha.

Como o sistema da presilha deverá cumprir a função de atender tanto a instalação de grades com malha de 30 mm quanto as de malha de 35 mm, foi avaliado em simulações através do *software Autocad* qual seria o tamanho ideal do batente central.

O batente central deve ser grande o suficiente para evitar que a malha de 35 mm mediante a um deslocamento acidental caia para fora da grade, contudo, deverá também manter uma folga mínima entre as barras chatas da grade da malha de 30 mm.

Na Figura 19, pode-se verificar as simulações feitas para definição do tamanho do batente central do elemento inferior.

Figura 19 - Simulações de alocação do batente em situação centralizada e descentralizada



Fonte: O Autor (2022).

O tamanho do batente foi definido pela pior situação, mantendo 1 milímetro de folga em relação a distância interna entre as barras portantes da malha de 30mm. A validação final do tamanho do batente foi feita com a avaliação da presilha deslocada do centro da malha de 35 mm, o que garante que em caso de um deslocamento da presilha a barra portante da grade não irá cair de cima da presilha.

3.2.3 Adaptação de projeto do elemento inferior para inclusão de furação de ajuste extra para o parafuso

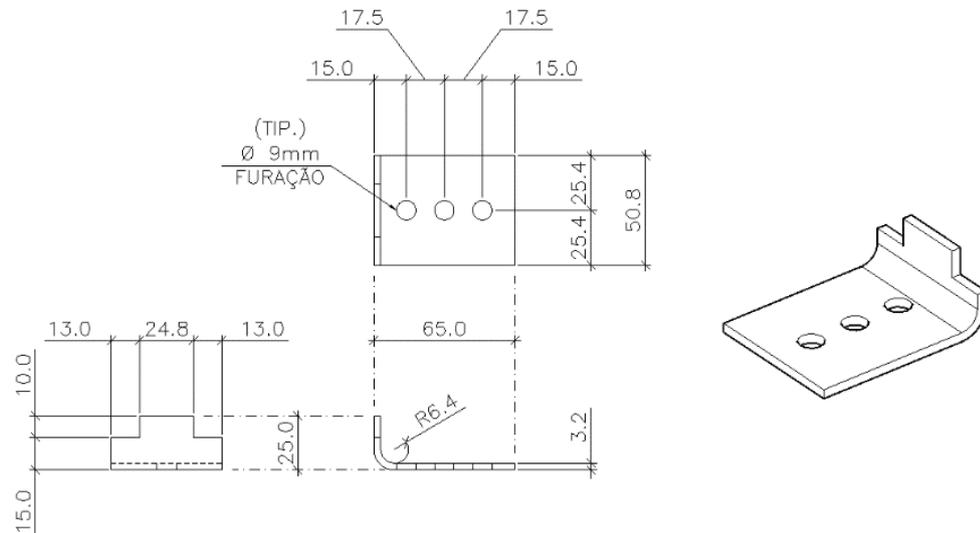
Como pôde-se verificar no modelo disponível em mercado, existem apenas dois furos no elemento inferior, isso cria uma limitação no momento de montagem da grade.

Em consulta junto as equipes de montagem de estruturas metálicas, foi indicada como uma possível melhoria a inclusão de uma furação centralizada aos 2 furos já existentes, desta forma, flexibilizaria o ajuste do elemento inferior em um ponto intermediário.

3.2.4 Definição do projeto final dos elementos superiores e inferiores das presilhas

Diante das adaptações executadas no projeto relatadas, chega-se aos projetos finais para cada um dos elementos que compõem a presilha. Na Figura 20 está representado o detalhamento do projeto final do elemento inferior que irá compor a presilha.

Figura 20 - Modelo final para Elemento Inferior

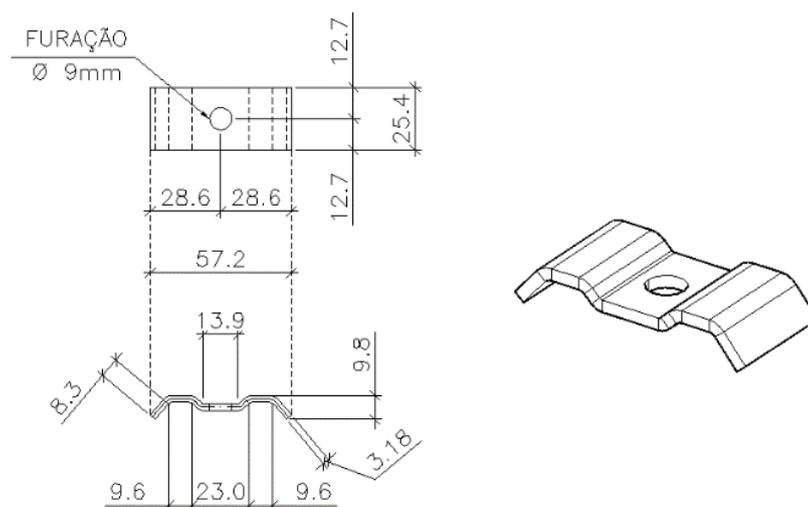


MODELO FINAL PARA ELEMENTO INFERIOR
ESC.: 1: 2,5

Fonte: O Autor (2022).

Na Figura 21 está representado o detalhamento do modelo final do elemento superior que irá compor a presilha.

Figura 21 - Modelo final para elemento superior



MODELO FINAL PARA ELEMENTO SUPERIOR
ESC.: 1: 2,5

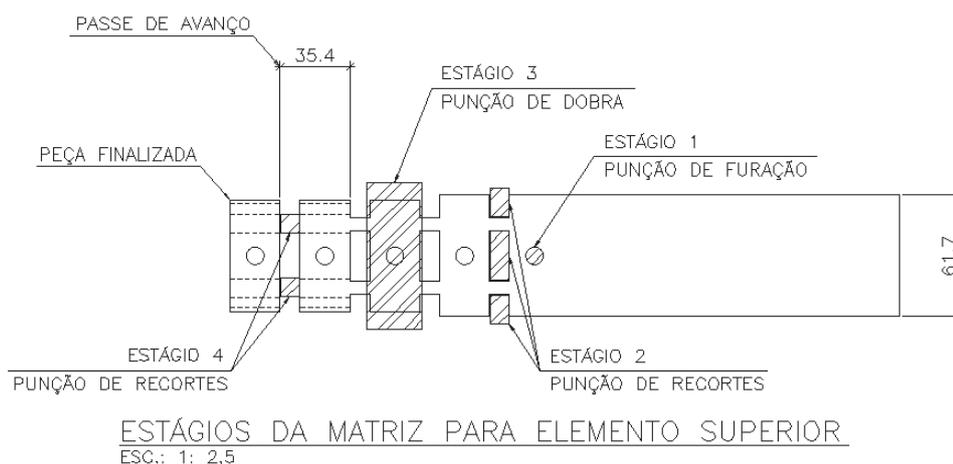
Fonte: O Autor (2022).

3.3 Matriz para elemento superior

O elemento superior é composto por uma chapa de 3,18mm de espessura. A matriz terá característica progressiva pois serão efetuados os processos de furação, seguidos dos processos de recorte, dobramento e corte final, propiciando uma produção seriada. Serão utilizados no total 4 estágios no processo.

Na Figura 22 pode-se verificar os estágios de fabricação do elemento superior e o passe de avanço da prensa para cada acionamento da prensa.

Figura 22 - Estágios da matriz para fabricação do elemento superior da presilha



Fonte: O Autor (2022).

3.3.1 Determinação das forças de corte e dobra da matriz do elemento superior

Para validação e dimensionamento da prensa que será necessária para executar a atividade de estampagem do elemento superior através das matrizes é necessária a verificação das forças envolvidas no processo.

Não serão considerados escalonamentos entre os estágios (diferenças de altura entre os punções, que permitem que a aplicação de carga da prensa aconteça de forma gradual e sequencial).

Serão calculadas as forças atuantes em cada um dos estágios. Na Tabela 4 estão dispostos os cálculos referentes a força de corte do punção de furação, o qual corresponde ao estágio 1 da matriz.

Tabela 4 - Verificações de forças relacionadas ao Estágio 1 da matriz do elemento superior

Estágio 1 - Força de Corte do Punção de Furação	
$L_c (2 \cdot \pi \cdot r)$	28,274 mm
e	3,180 mm
$A_c (L_c \cdot e)$	89,912 mm
$\sigma_{rup} (ASTM-A36)$	500,000 N/mm ²
$\sigma_{cis} (0,8 \cdot \sigma_{rup})$	400,000 N/mm ²
$F_c (A_c \cdot \sigma_{cis})$	35.964,953 N

Fonte: O Autor (2022).

Na Tabela 5 estão dispostos os cálculos referentes a força de corte dos punções para executar os recortes iniciais na peça, o qual corresponde ao estágio 2 da matriz.

Tabela 5 - Verificações de forças relacionadas ao Estágio 2 da matriz do elemento superior

Estágio 2 - Força de Corte do Punção de Recorte	
Lc	135,948 mm
e	3,180 mm
Ac (Lc . e)	432,313 mm
σ rup (ASTM-A36)	500,000 N/mm ²
σ cis (0,8 . σ rup)	400,000 N/mm ²
Fc (Ac . σ cis)	172.925,347 N

Fonte: O Autor (2022).

Na Tabela 6 estão dispostos os cálculos referentes a força de dobramento da peça, o qual corresponde ao estágio 3 da matriz.

Tabela 6 - Verificações de forças relacionadas ao Estágio 3 da matriz do elemento superior

Estágio 3 - Força de Dobra	
Quantidade de Dobras	6
Comprimento da Peça	25,400 mm
Ld (Quantidade de Dobras . Comprimento da Peça)	152,400 mm
e	3,180 mm
σ rup (ASTM-A36)	500,000 N/mm ²
Fd (Ld . e . σ rup. 1/3)	80.772,000 N

Fonte: O Autor (2022).

Na Tabela 7 estão dispostos os cálculos referentes a força de corte do punção de recorte final da peça, o qual corresponde ao quarto e último estágio da matriz.

Tabela 7 - Verificações de forças relacionadas ao Estágio 4 da matriz do elemento superior

Estágio 4 - Força de Corte do Recorte Final	
Lc	27,446 mm
e	3,180 mm
Ac (Lc . e)	87,280 mm
σ rup (ASTM-A36)	500,000 N/mm ²
σ cis (0,8 . σ rup)	400,000 N/mm ²
Fc (Ac . σ cis)	34.911,821 N

Fonte: O Autor (2022).

Efetuada os cálculos das forças relacionadas a cada estágio, chega-se aos resultados finais exibidos na Tabela 8:

Tabela 8 - Somatório total das forças relacionadas ao processo de estampagem do elemento superior da presilha

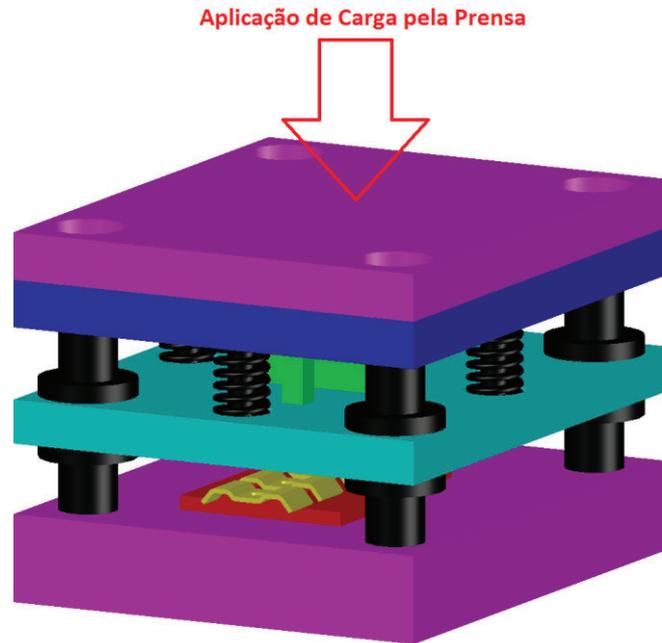
Somatório Total das Forças Relacionadas ao Processo de Estampagem do Elemento Superior	324.574,121 N
Fator de Correção de Segurança	20%
Somatório Total das Forças - Corrigida	389.488,945 N

Fonte: O Autor (2022).

3.3.2 Modelamento de projeto para a matriz/punção do elemento superior

Com base no desenho de detalhamento do elemento superior, elaborou-se o modelamento 3D de um projeto para a matriz e os punções necessários para fabricação do elemento. O modelamento foi elaborado através do *software AutoCad*, conforme demonstrado na Figura 23.

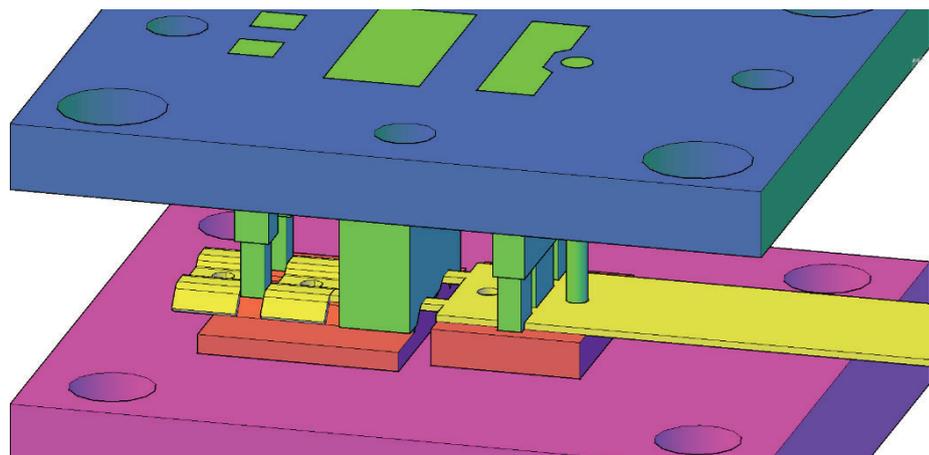
Figura 23 - Modelamento 3D do projeto da ferramenta para conformação do elemento superior



Fonte: O Autor (2022).

Na Figura 24 é possível verificar de maneira detalhada a ação progressiva dos punções em conjunto com as matrizes no processo de conformação da peça desejada.

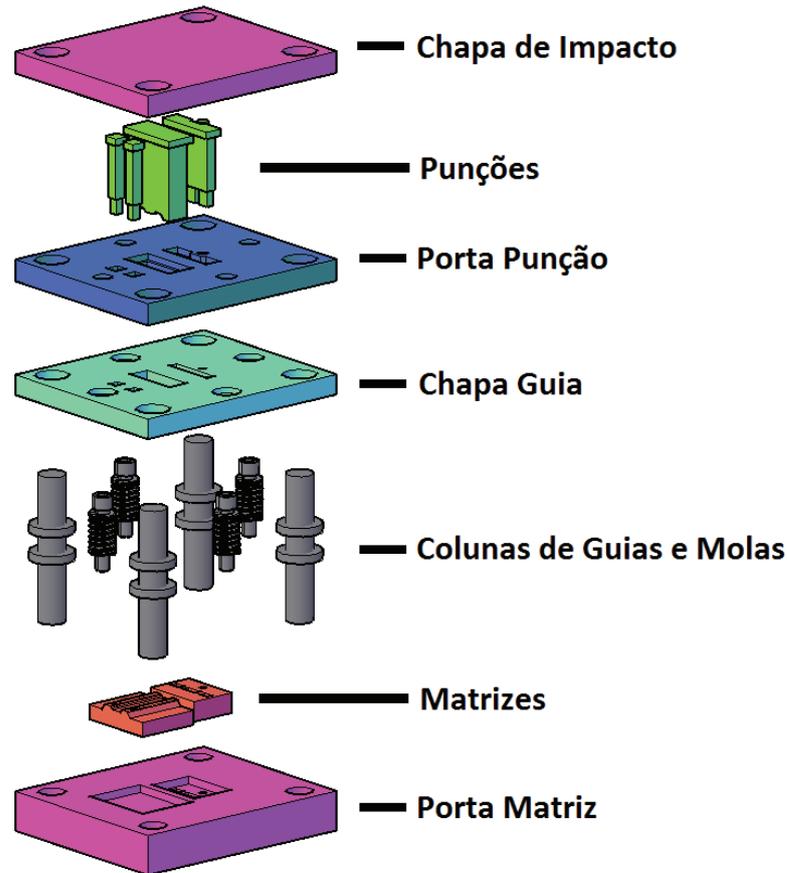
Figura 24 - Detalhe dos punções e das matrizes no processo de conformação do elemento superior



Fonte: O Autor (2022).

Na Figura 25, pode-se verificar o detalhe da ferramenta desmembrada, permitindo um melhor entendimento da sequência de montagem dos principais componentes.

Figura 25 - Projeto desmembrado da ferramenta de conformação do elemento superior



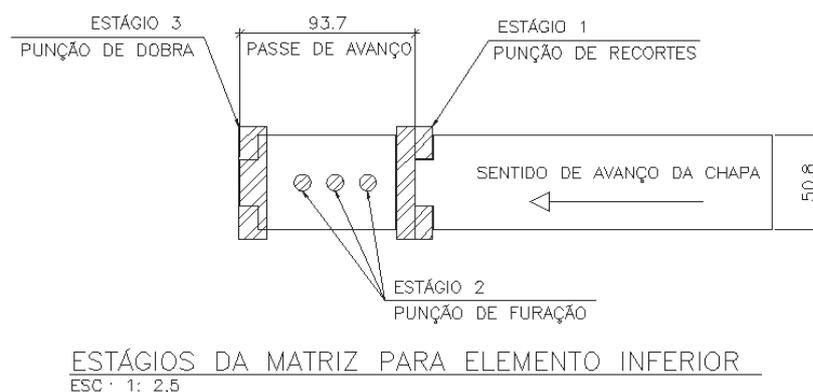
Fonte: O Autor (2022).

3.4 Matriz para elemento inferior

O elemento inferior é composto também por uma chapa de 3,18 mm de espessura. Assim como a matriz do elemento superior, a matriz do elemento inferior também terá característica progressiva. Serão efetuados os processos de recortes, seguidos dos processos de furação e dobramento, propiciando uma produção seriada. Serão utilizados no total 3 estágios no processo.

Na Figura 26 pode-se verificar os estágios de fabricação do elemento inferior e o passe de avanço do material para cada acionamento da prensa.

Figura 26 - Estágios da matriz para fabricação do elemento inferior da presilha



Fonte: O Autor (2022).

3.4.1 Determinação das forças de corte e dobra da matriz do elemento inferior

Para validação e dimensionamento da prensa que será necessária para executar a atividade de estampagem do elemento superior através das matrizes é necessária a verificação das forças envolvidas no processo.

Também não serão considerados escalonamentos entre os estágios (diferenças de altura entre os punções, que permitem que a aplicação de carga da prensa aconteça de forma gradual e sequencial).

Serão calculadas as forças atuantes em cada um dos estágios da matriz. Na Tabela 9 estão dispostos os cálculos referentes a força de corte dos punções para executar os recortes iniciais na peça, o qual corresponde ao estágio 1 da matriz.

Tabela 9 - Verificações de forças relacionadas ao Estágio 1 da matriz do elemento inferior

Estágio 1 - Força de Corte do Punção de Recorte	
Lc	121,600 mm
e	3,180 mm
Ac (Lc . e)	386,688 mm
σ rup (ASTM-A36)	500,000 N/mm ²
σ cis (0,8 . σ rup)	400,000 N/mm ²
Fc (Ac . σ cis)	154.675,200 N

Fonte: O Autor (2022).

Na Tabela 10 estão dispostos os cálculos referentes a força de corte dos 3 punções de furação da matriz, o qual corresponde ao estágio 2 da mesma.

Tabela 10 - Verificações de forças relacionadas ao Estágio 2 da matriz do elemento inferior

Estágio 2 - Força de Corte do Punção de Furação	
Lc (2. π .r)	28,274 mm
e	3,180 mm
Ac (Lc . e)	89,912 mm
σ rup (ASTM-A36)	500,000 N/mm ²
σ cis (0,8 . σ rup)	400,000 N/mm ²
Quantidade de Furações	3
Fc (Ac . σ cis)	107.894,858 N

Fonte: O Autor (2022).

Na Tabela 11 estão dispostos os cálculos referentes a força de dobramento da peça, o qual corresponde ao estágio 3 da matriz.

Tabela 11 - Verificações de forças relacionadas ao Estágio 3 da matriz do elemento inferior

Estágio 3 - Força de Dobra	
Qtd de Dobras	1
Comprimento da Peça	50,800 mm
Ld (Quantidade de Dobras . Comprimento da Peça)	50,800 mm
e	3,180 mm
σ rup (ASTM-A36)	500,000 N/mm ²
Fd (Ld . e . σ rup. 1/3)	26.924,000 N

Fonte: O Autor (2022).

Efetuada os cálculos das forças relacionadas a cada estágio, chega-se aos resultados finais exibidos na Tabela 12.

Tabela 12 - Somatório total das forças relacionadas ao processo de estampagem do elemento inferior da presilha

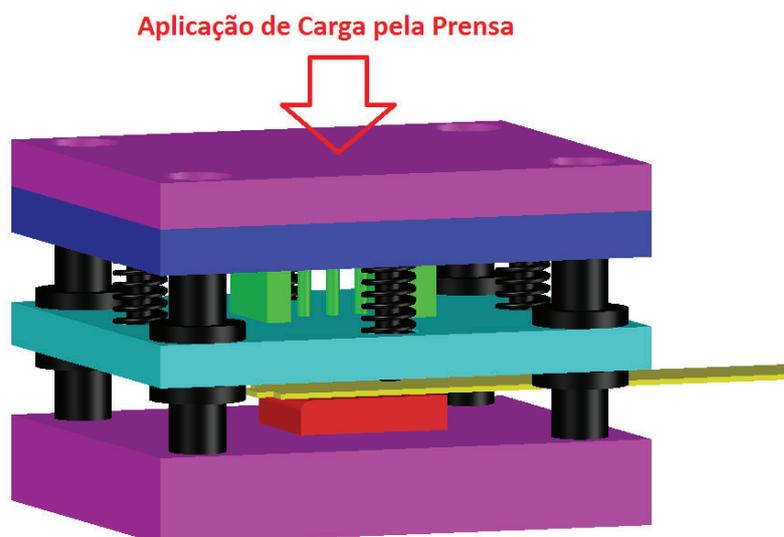
Somatório Total das Forças Relacionadas ao Processo de Estampagem do Elemento Inferior	289.494,058 N
Fator de Correção de Segurança	20%
Somatório Total das Forças - Corrigida	347.392,870 N

Fonte: O Autor (2022).

3.4.2 Modelamento de projeto para a matriz/punção do elemento inferior

Com base no desenho de detalhamento do elemento inferior, elaborou-se o modelamento 3D de um projeto para a matriz e os punções necessários para fabricação do elemento, conforme demonstrado na Figura 27.

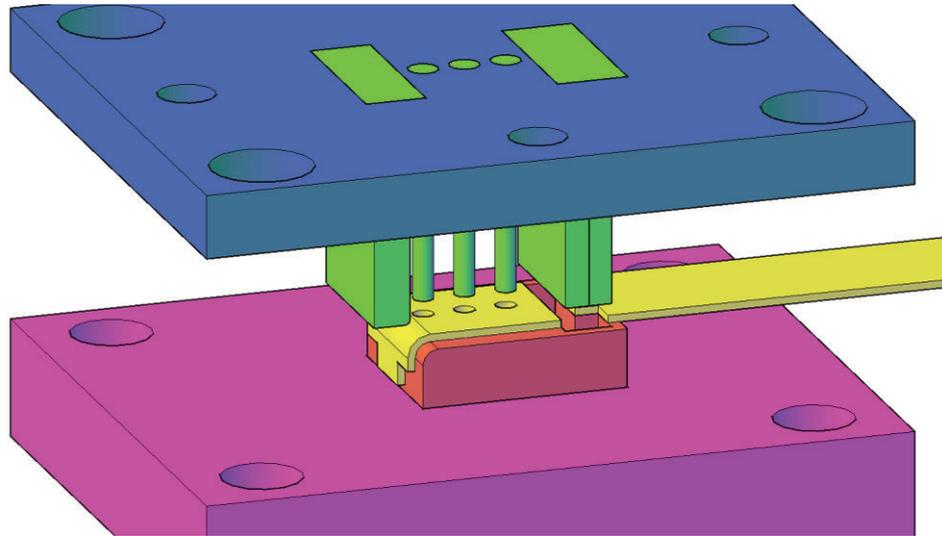
Figura 27 - Modelamento 3D do projeto da ferramenta para conformação do elemento superior



Fonte: O Autor (2022).

Na Figura 28 é possível verificar de maneira detalhada a ação progressiva dos punções em conjunto com as matrizes no processo de conformação da peça desejada.

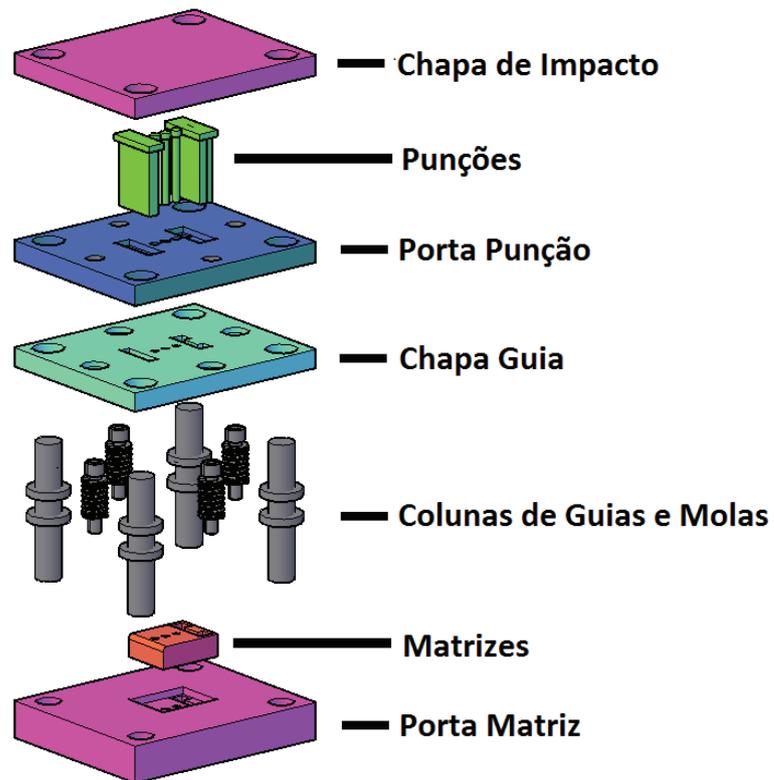
Figura 28 - Detalhe do punção e da matriz no processo de conformação do elemento inferior



Fonte: O Autor (2022).

Na Figura 29 pode-se verificar o detalhe da ferramenta desmembrada, permitindo um melhor entendimento da sequência de montagem dos principais componentes.

Figura 29 - Projeto desmembrado da ferramenta de conformação do elemento inferior



Fonte: O Autor (2022).

3.5 Levantamento de custo unitário para fabricação das presilhas

Para validação do investimento necessitamos realizar o levantamento de custo de fabricação unitário das presilhas, para que seja assim possível avaliar se o custo é superior ou inferior à compra direta com os fornecedores já existentes no mercado.

3.5.1 Custo de mão por presilha

No custo de mão de obra por presilha deve-se quantificar o tempo de movimentação de matéria prima do elemento superior e inferior, efetuando o rateio deste tempo pela quantidade de peças estampadas na barra chata movimentada. Na Tabela 13 estão detalhados os custos relacionados à mão de obra para fabricação das presilhas.

Tabela 13 - Custo unitário de mão de obra

Custo de Mão de Obra por Presilhas		
Custo de Hora Homem	R\$ 35,20	
Custo de Mão de Obra com Movimentação de Matéria Prima		
	Elemento Superior	Elemento Inferior
Tempo para colocar a matéria prima (barra chata de 6 metros de comprimento) sob a bancada	2 minutos (0,03333 Horas)	2 minutos (0,03333 Horas)
Custo de Movimentação para 1 barra chata	R\$ 1,173	R\$ 1,173
Número de Presilhas produzidas com 1 barra chata	64 unidades	169 unidades
Custo de Movimentação por unidade	R\$ 0,018	R\$ 0,007
Custo de Mão de Obra para Estampagem		
Tempo para estampar 1 unidade	8 segundos (0,00222 Horas)	8 segundos (0,00222 Horas)
Custo de Mão de Obra para Estampagem	R\$ 0,078	R\$ 0,078
Custo Final de Mão de Obra	R\$ 0,096	R\$ 0,085
Custo Final de Mão de Obra para Presilha	R\$ 0,181	

Fonte: O Autor (2022).

3.5.2 Custos com compra de matéria prima

Os custos relacionados à compra matéria prima das presilhas estão diretamente ligados ao peso das peças. Na Tabela 14 foram elaborados os detalhamentos dos valores que incorporam estes custos.

Tabela 14 - Custos com compra de matéria prima

Custo com Compra de Matéria Prima das Presilhas			
Descrição	Peso	Valor por Quilograma	Custo
Elemento Inferior (Peso Incluindo sucatas removidas na estampagem dos recortes da peça)	0,1056 Kg	R\$ 8,323	R\$ 0,879
Elemento Superior	0,03316 Kg	R\$ 8,323	R\$ 0,276
Parafuso M8x3" - Galvanizado à Fogo			R\$ 1,390
Porca M8 – Galvanizado à Fogo			R\$ 0,390
Custo Total com Matéria Prima			R\$ 2,935

Fonte: O Autor (2022).

3.5.3 Custos com tratamento de superfície

O tratamento de superfície aplicado nos elementos superiores e inferiores será a galvanização à fogo. Na Tabela 15 abaixo serão detalhados os valores que compõem os custos para realizar o tratamento de galvanização das presilhas.

Tabela 15 - Custos com galvanização à fogo das presilhas

Custo com Galvanização à Fogo das Presilhas			
Descrição	Peso	Valor por Quilograma	Custo
Elemento Inferior (Peso de sucatas geradas dos recortes das peças descontadas)	0,09438 Kg	R\$ 4,50	R\$ 0,424
Elemento Superior	0,03316 Kg	R\$ 4,50	R\$ 0,149
Parafuso M8x2"	Já Galvanizado à Fogo		
Porca M8	Já Galvanizado à Fogo		
Custo com Galvanização à Fogo			R\$ 0,573

Fonte: O Autor (2022).

Considerando que serão produzidos lotes de 40.000 (quarenta mil) unidades para efetivar a contratação de um transporte para realização do frete, aplica-se o rateio do valor do frete para a quantidade total de presilhas transportadas. Na Tabela 16 abaixo, serão detalhados os valores que compõem os custos com transporte de ida e volta das presilhas para a galvânica.

Tabela 16 - Custo com transporte das presilhas para a galvânica

Custo com Transporte das Presilhas para a Galvânica	
Valor Frete de Ida para Galvânica	R\$ 2.500,00
Valor Frete de Volta para Galvânica	R\$ 2.500,00
Custo Total de Transporte	R\$ 5.000,00
Quantidade de Presilhas Transportadas (Elemento Superior + Inferior)	40.000
Custo de Transporte por Unidade de Presilha	R\$ 0,125

Fonte: O Autor (2022).

O valor do frete foi cotado considerando um transporte de ida e volta entre as cidades de Marau e Farroupilha (localização da galvânica mais próxima), ambas as cidades localizadas no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

3.5.4 Custos com manutenção de punções

Para efetuar o levantamento de custo de afiação dos punções, quantificou-se a quantidade total de 11 punções de corte se somadas as matrizes dos elementos superiores e inferiores. Leva-se em conta que a afiação dos punções é feita a cada 20.000 estampagens e o custo de afiação é pode variar de R\$ 60,00 a R\$ 90,00 por unidade de punção, portanto, será utilizado para custo unitário de manutenção dos punções o valor médio de R\$ 75,00. Na Tabela 17 estão representados os custos referentes às manutenções dos punções das matrizes.

Tabela 17 – Custo com manutenção de punções

Custo com Manutenção de Punções	
Quantidade de Punções de Corte	11 punções
Custo de Manutenção por Punção	R\$ 75,00
Custo Total por Manutenção das Matrizes	R\$ 825,00
Periodicidade de Manutenção	A cada 20.000 unidades estampadas
Custo de Manutenção por Unidade de Presilha	R\$ 0,041

Fonte: O Autor (2022).

Após finalizado todas as avaliações necessárias, chegou-se ao custo final da nova presilha, os quais estão relacionados na Tabela 18 abaixo.

Tabela 18 - Resumo final de custo da nova presilha

Resumo Final de Custo da Nova Presilha	
Descrição do Custo	Custo
Custo de Mão de Obra	R\$ 0,181
Custo Total com Matéria Prima	R\$ 2,935
Custo com Galvanização à Fogo	R\$ 0,573
Custo com Transporte das Presilhas para a Galvânica	R\$ 0,125
Custo de Manutenção por Unidade de Presilha	R\$ 0,041
Total	R\$ 3,855

Fonte: O Autor (2022).

3.6 Desenvolvimento de protótipo

Tendo desenvolvido o projeto de uma nova presilha, optou-se por comparar o desempenho da nova presilha projetada com o desempenho das presilhas já existentes no mercado através da fabricação de um protótipo.

O protótipo tem como ideia inicial a fabricação de um quadro rígido de estruturas metálicas, simulando uma passarela para tráfego de pessoas, para servir de apoio para fixação de grades de piso. O protótipo será composto por duas grades de piso onde uma delas será fixada com a presilha comprada de mercado e a outra grade será fixada com os protótipos fabricados das novas presilhas projetadas.

A estrutura será submetida à vibrações superiores às vibrações usuais das estruturas com a finalidade de proporcionar o afrouxamento das presilhas e compará-las.

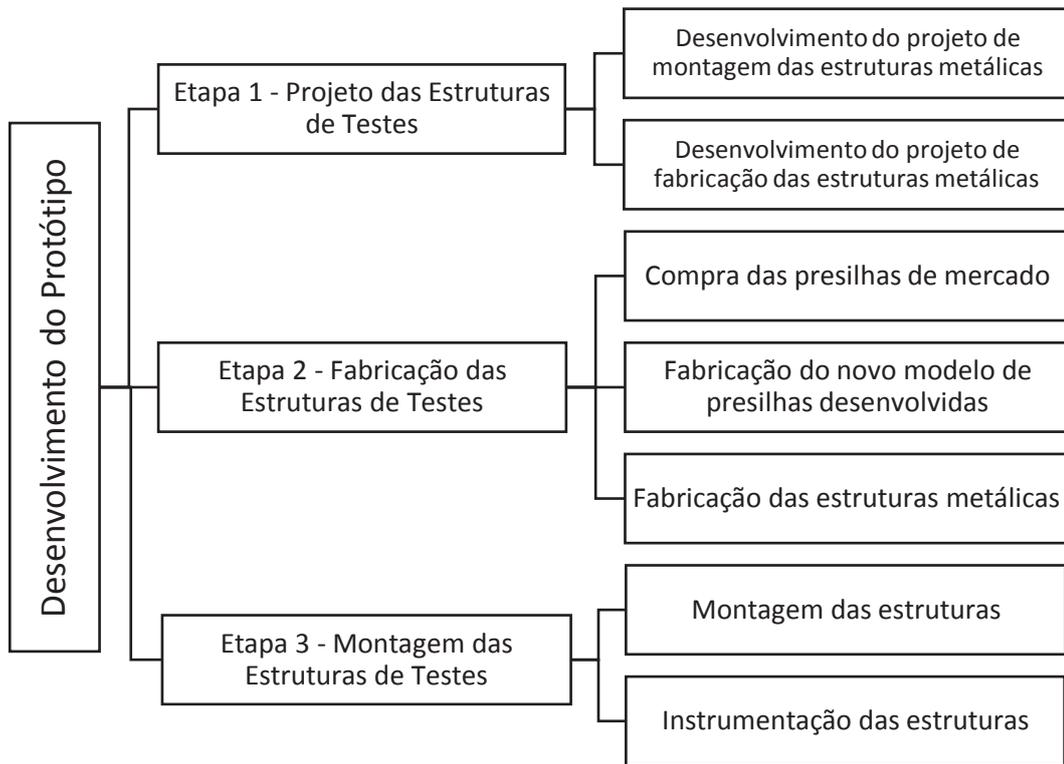
Para proporcionar a vibração necessária será acoplado à estrutura um motovibrador, cuja qual será aferida utilizando acelerômetros em conjunto com um amplificador de sinal.

Abaixo segue a lista de materiais e fabricantes:

- Vigas metálicas – Fabricante CS Metalúrgica Ltda.
- Parafusos para fixação das estruturas metálicas – Fabricante Industrial Rex Ltda.
- Grades de Piso de malha 30 mm – Fabricante Marangoni Meiser Pisos Metálicos Ltda.
- Motovibrador com potência de 1,7 HP – Fabricante Oli do Brasil Equipamentos Industriais Ltda.
- Acelerômetros – Modelo Silicon Design 2220-050 e 2210-100.
- Amplificador de Sinal – Modelo Lynx Tecnologia ADS-1800.
- Torquímetro Digital com capacidade 340 N.m e resolução de 0,1 N.m – Fabricante Tramontina Garibaldi S.A. Ind. Met.

Para execução do processo de prototipagem serão executadas as etapas descritas na Figura 30 abaixo.

Figura 30 - Etapas para desenvolvimento do protótipo

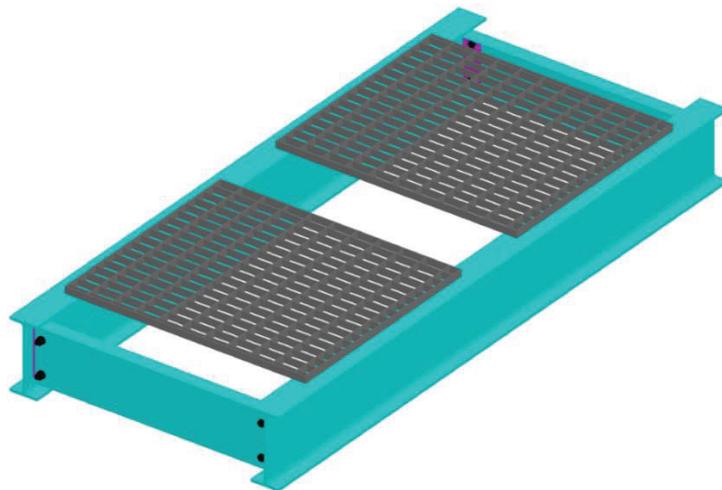


Fonte: O Autor (2022).

3.6.1 Projeto das estruturas de testes

Foi projetado um quadro de estruturas metálicas, composto por vigas metálicas e duas grades de piso, das quais, uma delas foi fixada utilizando a nova presilha e a outra foi fixada utilizando a presilha de mercado. Na Figura 31 podemos verificar o modelamento 3D do protótipo das estruturas projetado.

Figura 31 - Protótipo de passarela metálica



Fonte: O Autor (2022).

O projeto técnico de detalhamento para fabricação das estruturas metálicas utilizadas para o protótipo pode ser consultado no Apêndice A do presente trabalho.

Para executar a montagem das estruturas foi executado o projeto de montagem mecânica das estruturas metálicas, cujo qual pode ser consultado no Apêndice B do presente trabalho.

3.6.2 Fabricação das estruturas de testes

Foram efetuadas as compras de oito unidades das presilhas de mercado, das quais, quatro serão utilizadas para fixação de uma das grades. Abaixo, na Figura 32 estão demonstradas as presilhas de mercado que foram adquiridas junto ao fabricante.

Figura 32 - Presilhas compradas de mercado para comparativo de eficiência



Fonte: O Autor (2022).

Utilizando o projeto do novo modelo de presilhas já desenvolvido neste trabalho, foram fabricadas oito unidades utilizando uma máquina plasma CNC para realizar os cortes e as furações. Na Figura 33 estão demonstradas as presilhas já finalizadas e prontas para instalação.

Figura 33 - Presilhas fabricadas a partir do novo projeto desenvolvido para comparativo de eficiência



Fonte: O Autor (2022).

3.6.3 Montagem das estruturas de testes

Após a fabricação de todos os componentes, iniciou-se o processo de montagem das estruturas metálicas, seguindo as orientações de projeto. A Figura 34 abaixo demonstra a estrutura do protótipo com sua montagem já finalizada.

Figura 34 - Montagem do protótipo



Fonte: O Autor (2022).

Os parafusos das estruturas metálicas foram torqueados seguindo a orientação de seu fabricante (entre 98 e 116 N.m), conforme exemplificada na Figura 35 abaixo.

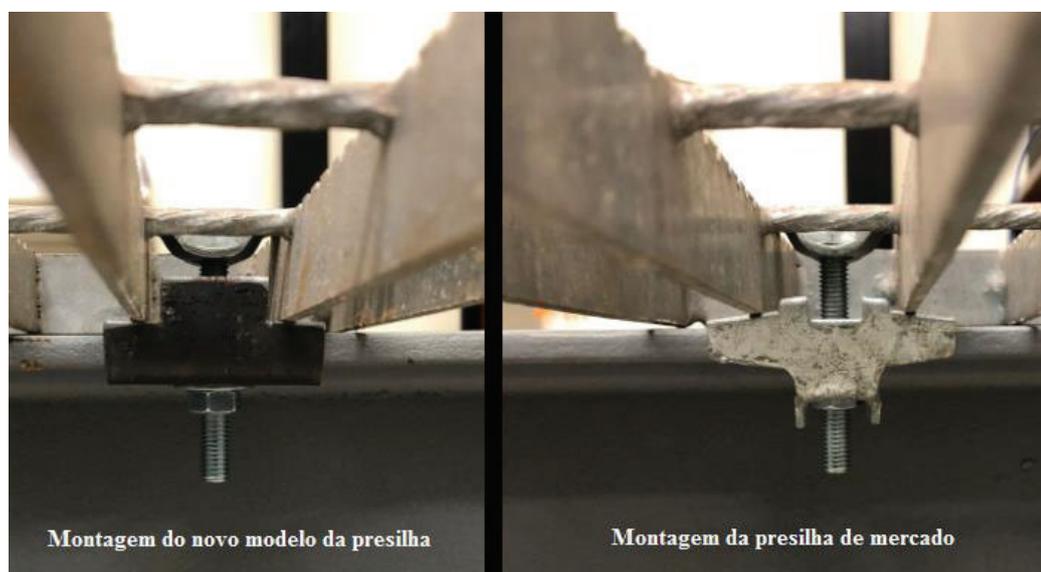
Figura 35 - Aplicação de torque nos parafusos



Fonte: O Autor (2022).

Para a montagem das presilhas de fixação das grades de piso foi utilizado o mesmo processo, contudo, não foi possível aplicar um torque com extrema precisão em função da deformação identificada nos elementos superiores das presilhas.

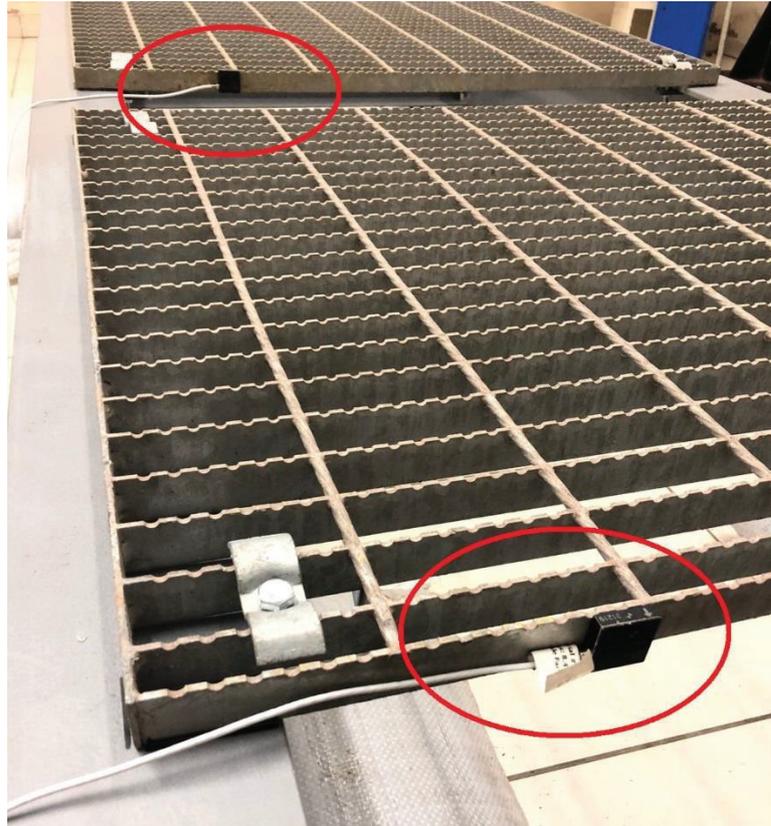
Figura 36 - Demonstração da montagem das presilhas



Fonte: O Autor (2022).

Para instrumentação do protótipo foram instalados os acelerômetros no sentido longitudinal da passarela, afim de aferir as medições no sentido desejado, como demonstra a Figura 37 abaixo.

Figura 37 - Instalação dos acelerômetros



Fonte: O Autor (2022).

Por fim, para finalização da montagem do protótipo instalou-se o motovibrador na extremidade da plataforma, centralizado em seu eixo como demonstra a Figura 38.

Figura 38 - Instalação do motovibrador



Fonte: O Autor (2022).

4 RESULTADOS

Neste capítulo estão descritas as etapas do projeto realizadas para o trabalho de TFG II, e os resultados do mesmo.

4.1 Projeto de novo modelo de presilha

Através das consultas e avaliações realizadas foi projetado um novo modelo de presilha que atendeu o objetivo de fixar as grades de piso de maneira eficiente.

A presilha foi projetada visando melhorias em sua funcionalidade permitindo novos pontos de ajustes de montagem. Também foi implementado reduções na quantidade de matéria prima utilizada, possibilitando a otimização dos processos de fabricação e a redução de custos.

4.2 Projeto de matrizes para fabricação dos elementos superiores e inferiores das presilhas de fixação das grades de piso metálicas

Obteve-se através dos estudos realizados, os modelos 3D iniciais das matrizes para fabricação dos elementos superiores e inferiores de uma presilha de fixação de grades de piso metálicas, que nortearão um projeto futuro para implementação das matrizes.

4.3 Verificação das forças totais para fabricação dos elementos da presilha

Mediante às determinações de forças realizadas, identificou-se que será necessária uma aplicação máxima de força de 389.488,945 N para efetuar a conformação do elemento superior e uma aplicação máxima de força de 347.392,870 N para efetuar a conformação do elemento inferior. Desta forma, o processo de fabricação mais crítico será o do elemento superior, cujo qual demandará uma maior aplicação de força para executar sua estampagem.

Pode-se concluir que a prensa existente, que possui capacidade de 784.800,00 N, atende as exigências de cargas que serão aplicadas para ambas as matrizes, permitindo a fabricação da ferramenta sem a necessidade de escalonar os punções dos estágios.

4.4 Orçamento para fabricação das matrizes

Foi realizada a cotação estimada junto à uma empresa especializada na fabricação de matrizes, utilizando como base nos projetos elaborados para fabricação das duas ferramentas apresentadas no presente projeto. Os valores de orçamentação estão dispostos na Tabela 19.

Tabela 19 - Custos para fabricação das matrizes

Material	Custo de Fabricação	
Elemento Superior	R\$	15.500,00
Elemento Inferior	R\$	18.500,00
Total	R\$	34.000,00

Fonte: O Autor (2022).

4.5 Avaliação do *payback* para o investimento

Para validação do investimento será necessário avaliar o seu tempo de retorno, visando identificar a partir de quantas unidades de presilha o investimento de compra das matrizes e fabricação interna das presilhas terá o seu devido retorno.

Tabela 20 - Avaliação o *payback* para o investimento

Avaliação de Payback	
Custo da presilha adquirida no mercado	R\$ 4,750
Custo do novo modelo de presilha produzida internamente a partir do investimento	R\$ 3,855
Valor economizado por presilha produzida	R\$ 0,895
Valor de Investimento nas Matrizes de Fabricação das Presilhas	R\$ 34.000,00
Payback do investimento	37.989 unidades de presilha

Fonte: O Autor (2022).

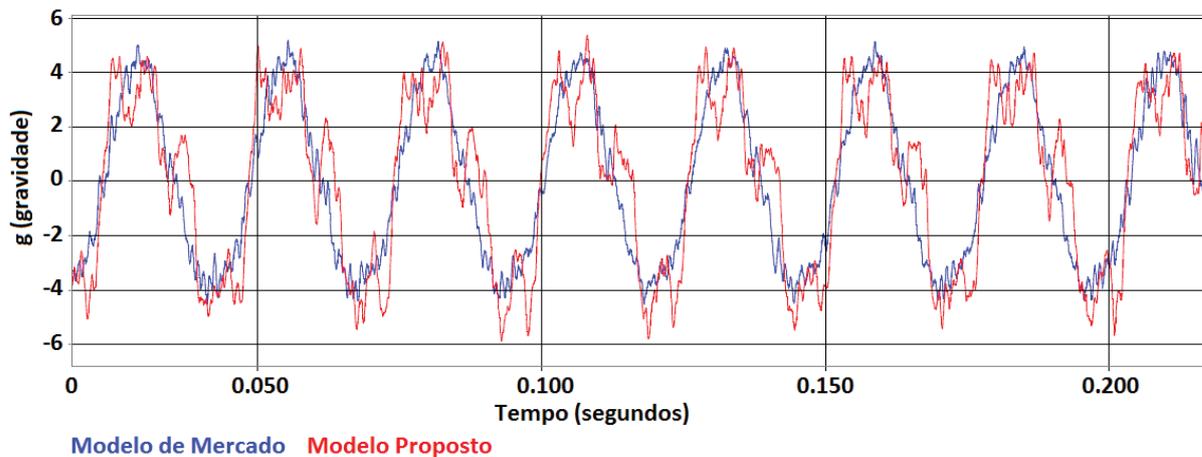
4.6 Avaliação de desempenho das presilhas

O teste realizado no protótipo consistiu na aplicação de vibrações forçadas na frequência natural da estrutura, cuja qual foi identificada em 39,3 Hz (superior à indicada na NBR 8800).

A estrutura foi submetida à vibração durante um período de 7 horas e não foram identificados deslocamentos ou afrouxamento tanto da presilha projetada quanto da presilha de mercado.

Na Figura 39 abaixo está representada a plotagem do gráfico de incidência de deslocamento e força nas grades de piso em função da vibração.

Figura 39 - Incidência de força sob as presilhas durante os testes de vibração



Fonte: O Autor (2022).

Os resultados das forças aplicadas nas grades de piso por meio das vibrações plotadas no gráfico acima da Figura 39 estão destacado na Tabela 21 abaixo.

Tabela 21 - Forças positivas e negativas aplicadas nas grades de piso por meio da vibração

Modelo de Mercado (g)		Modelo Proposto (g)	
Mínimo / Máximo	Amplitude	Mínimo / Máximo	Amplitude
-4,53383 / 5,18466	9,71849	-5,87052 / 5,3521	11,22260

Fonte: O Autor (2022).

Nota-se que o novo modelo de presilhas projetado ficou exposto à uma força superior ao modelo de mercado, tanto na máxima quanto na mínima, absorvendo de maneira eficiente e sem demonstrar deslocamentos e/ou afrouxamentos dos parafusos.

5 CONCLUSÕES

O presente capítulo tem o como objetivo apresentar o atendimento aos objetivos específicos estabelecido no decorrer do desenvolvimento do presente trabalho.

5.1 Objetivos concluídos

Foram verificados os modelos de presilha existentes no mercado e projetado um novo modelo de presilha aplicando as adaptações e melhorias que atendessem as necessidades de montagem de maneira mais eficiente e versátil, assim como, possibilitasse uma melhor otimização dos processos de fabricação utilizando também uma menor quantidade de matéria prima, reduzindo assim os custos de materiais.

Foram elaborados estudos de projeto referente cada um dos estágios de avanço das peças sob as matrizes durante o processo de estampagem de cada elemento da presilha, assim como, efetuadas as determinações de forças atuantes em cada um dos estágios e validando-as para a utilização de uma prensa de 80 toneladas para estampagem das presilhas.

Através dos novos modelos de presilhas obtidos foram desenvolvidos pré-projetos em 3D para futuro desenvolvimento de um projeto das matrizes de estampagem dos elementos superiores e inferiores da presilha.

Foi realizado o levantamento de custo unitário da presilha e avaliado o *payback* do investimento em 37.989 unidades de presilha.

Com o desenvolvimento do protótipo e a testagem das presilhas foi possível validar que o desempenho da presilha projetada foi similar ao desempenho da presilha disponível em mercado. Ambas as presilhas não apresentaram afrouxamento de parafusos ou deslocamentos em relação à sua posição inicial.

5.2 Sugestões para estudos posteriores

Este trabalho de pesquisa e desenvolvimento buscou não só aperfeiçoar um produto já existente no mercado, mas também aprimorar um processo de produção visando a fabricação seriada de presilhas.

Sendo assim, em seguida serão apresentados possíveis considerações para estudos posteriores.

- Aprofundar a análise estrutural da presilha e testá-la utilizando uma espessura de chapa mais fina para o elemento inferior do que a utilizada para o presente trabalho (3,18mm) com a finalidade de reduzir o custo de matéria prima;
- Aprofundar estudo do elemento superior, implementando possíveis tratamentos térmicos, utilizando outro material ou até mesmo aumentando a espessura da chapa utilizada (3,18mm) com a finalidade de aumentar sua dureza e minimizar a sua deformação no momento de aperto da presilha;
- Avaliar a alteração do tratamento de superfície das presilhas visando a redução de custo.
- Desenvolver dispositivo para prender a porca por baixo da presilha e facilitar o aperto do parafuso por cima.

REFERÊNCIAS

ABNT, A. B. (2008). **NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: Abnt Editora.

ABNT, A. B. (2018). **NBR 16696 - Grades de piso e degraus de aço inoxidável e aço carbono eletrofundidos e galvanizados por imersão a quente - Requisitos**. Rio de Janeiro: Abnt Editora.

BORN, R. M., & MATTOS, C. F. (2018). **Comportamento do processo de têmpera no aço sae 1045 através do resfriamento em óleo com viscosidades distintas**. Revista Dissertar.

CHIAVERINI, V. (2012). **AÇOS E FERROS FUNDIDOS (7º ed.)**. Associação Brasileira de Metais.

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL. (04 de Julho de 2022). **Construção Metálica**. Fonte: Site da Escola de Engenharia Civil e Ambiental: <https://www.eeca.ufg.br/n/24584-construcao-metalica>

FILHO, E. B., SILVA, I. B., BATALHA, G. F., & BUTTON, S. T. (2011). **CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS (6ª ed.)**. São Paulo: EPUSP.

FONSECA, R. (04 de Julho de 2022). **Produtividade e Crescimento da Indústria Brasileira**. Fonte: Site da Fundação Centro de Estudos do Comércio Exterior - FUNCEX: https://www.funcex.org.br/publicacoes/rbce/material/rbce/112_RF.pdf

GERDAU. (03 de Novembro de 2021). **Catálogo de Produtos - Barras Chatas. (Gerdau S.A.)** Acesso em 03 de Novembro de 2021, disponível em Site da Gerdau S.A.: <https://www2.gerdau.com.br/produtos/barra-chata>

JUNIOR, I. B., & CAVERSAN, E. G. (2012). **Tecnologia da Estampagem 1**. Sorocaba, São Paulo, Brasil: Centro Paula Souza.

MARANGONI-MEISER PISOS METALICOS LTDA. (27 de Abril de 2021). **Catálogo de Grades Metálicas Eletrofundidas Conforme Norma ABNT NBR 16696:2018**. Mogi Mirim, São Paulo, Brasil. Fonte: Site da Marangoni-Meiser: <https://www.marangoni.com.br/produtoseservicos/grade-de-piso/>

MARCONDES, P. (2008). **Projeto de Ferramentas para Conformação de Chapas**. Curitiba, Paraná, Brasil: Universidade Federal do Paraná.

MESQUITA, E. L., & RUGANI, L. L. (1997). **Estampagem dos aços inoxidáveis**. São Paulo, São Paulo, Brasil: Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC.

NEVES, R. S. (2013). **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM MECÂNICA EM CHAPAS METÁLICAS ATRAVÉS DO MODELO DE DANO DE LEMAITRE**. Brasília, Distrito Federal, Brasil: Universidade de Brasília - UnB.

PRAVIA, Z. M., FICANHA, R., & FABEANE, R. (2013). **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda.

SIBROL DO BRASIL LTDA. (2019). **Catálogo de Grades de Piso Metálicas**. Sorocaba, São Paulo, Brasil. Fonte: Sibrol do Brasil Ltda: <https://www.sibrol.com.br/catalogo.pdf>

Apêndice B

